

VADELMAN (*RUBUS IDAEUS*) KASVUNSÄÄTÖ PROHEKSADIONI- KALSIUMIN AVULLA

Eero Pehkonen
Pro gradu -tutkielma
Helsingin yliopisto
Soveltavan biologian laitos
Puutarhatiede
Marraskuu 2006

Tiedekunta/Osasto — Fakultet/Sektion — Faculty Maatalous-metsätieteellinen tiedekunta		Laitos — Institution — Department Soveltavan biologian laitos	
Tekijä — Författare — Author Eero Pehkonen			
Työn nimi — Arbetets titel — Title Vadelman kasvunsäätö proheksadioni-kalsiumin avulla			
Oppiaine — Läroämne — Subject Puutarhatiede			
Työn laji — Arbetets art — Level Pro gradu -tutkielma		Aika — Datum — Month and year Marraskuu 2006	Sivumäärä — Sidoantal — Number of pages 52 s
Tiivistelmä — Referat — Abstract			
<p>Vadelman (<i>Rubus idaeus</i> L.) viljelyala on kasvanut Suomessa voimakkaasti viimeisten viiden vuoden aikana. Vuonna 2005 vadelmaa viljeltiin 473 hehtaarilla. Vadelman satoindeksi on alhainen. Sen pääverso on pitkä, mikä hankaloittaa hoitotoimenpiteitä. Kasvin satoisimmat silmut ovat pääversion kärjessä, joten latvontaa ei kannata tehdä. Suomessakin haluttaisiin kehittää vadelman kasvihuonetuotantoa satokauden pidentämiseksi. Kasvihuonetuotannossa vegetatiivisen kasvun säätäminen on vielä tärkeämpää kuin avomaan viljelyssä. Proheksadioni-kalsium (ProCa) on gibberelliinisynteesi-inhibiittori, jonka on havaittu lyhentävän nivelväläjä sekä lisäävän versojen ja lehtien hiilihydraattipitoisuutta mm. omenalla (<i>Malus domestica</i> Borkh.). Tämän Helsingin yliopiston soveltavan biologian laitoksella toteutetun tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää, miten ProCa vaikuttaa kahden kesävadelmalajikkeen ensimmäisen vuoden versojen vegetatiiviseen kasvuun ja edelleen sadontuottookykyyn.</p> <p>Tässä pro gradu -työssä tutkittiin ProCa:n vaikutusta kahden kesävadelmalajikkeen vegetatiiviseen kasvuun, satopotentiaaliin sekä versojen ja silmujen hiilihydraattipitoisuuksiin kesällä 2005 ja talvella 2006. Koetaimina oli 120 Tulameen-lajikkeen ja 150 Glen Ample -lajikkeen tainta. Taimet käsiteltiin kesäkuussa ja käsittely uusittiin osalle taimista neljän viikon kuluttua ensimmäisestä käsittelystä. Koekäsittelyitä oli neljä: ProCa 100 ppm, ProCa 200 ppm, ProCa 100 ppm + ProCa 100 ppm ja ProCa 200 ppm + ProCa 200 ppm. Kontrollikäsittelyitä oli kaksi: vesi sekä vesi + vesi. Kesän aikana havainnoitiin pääversion pituuskasvua ja nivelien määrää. Kesän kasvatuskauden päättyttyä Glen Ample -lajikkeen silmujen ja versojen liukoiset hiilihydraatit ja tärkkelys määritettiin entsyymaattisesti. Kylmävarastoinnin jälkeen (71 vrk) tammikuussa 2006 taimet siirrettiin hyötöön kasvihuoneeseen. Hyödön aikana havainnoitiin silmujen puhkeamista ja kukintaa. Hyödön päättyessä hanka- ja pääversojen kuivapaino sekä hankaversojen pituus mitattiin.</p> <p>Kesän 2005 aikana ProCa lyhensi uusien nivelvälien pituuksia väliaikaisesti 1–4 viikon kuluttua käsittelystä. Nivelien lukumäärässä ei tapahtunut suuria muutoksia. Tulameen-lajikkeella kasvu kiihtyi käsittelyn vaikutuksen loputtua. Nivelvälien lyhentymisen takia pääversion kokonaispituus jäi kontrolliin verrattuna 35 % lyhyemmäksi Glen Ample -lajikkeella (ProCa 200 + ProCa 200) ja 14 % lyhyemmäksi Tulameen-lajikkeella samalla käsittelyllä. Myös käsittely ProCa 200 vähensi pääversion pituutta 6 % kontrolliin verrattuna Tulameen-lajikkeella. ProCa-käsittely lisäsi versojen ja silmujen hiilihydraattipitoisuuksia, mutta tuloksissa oli paljon hajontaa. Glen Ample -lajikkeella kaksinkertaiset käsittelyt vähensivät puhjenneiden silmujen osuutta 8–15 päivän kuluttua hyödön aloittamisesta 24–29 %, mutta käsittelyiden väliset erot tasoittuivat hyödön loppuun mennessä. Lisäksi kaksinkertaiset ProCa-käsittelyt vähensivät kukkien määrää 29–44 % 33–65 päivää hyödön alusta, mutta erot tasoittuivat hyödön loppuun mennessä. Käsittelyt eivät vaikuttaneet Tulameen-lajikkeen silmujen puhkeamiseen ja kukintaan. Satopotentiaalissa ei ollut eroa ProCa-käsittelyiden välillä kummallakaan lajikkeella. Glen Ample -lajikkeella hankaversojen kokonaismäärä väheni 27–32 % kasveilla, joita oli käsitelty kaksi kertaa ProCa:lla. Hankaversot olivat kuitenkin vastaavasti 29–43 % pidempiä. Tulameen-lajikkeella ProCa 100 -käsittely vähensi hankaversojen määrää 15 %, mutta hankaversojen pituuteen käsittelyillä ei ollut vaikutusta. Käsittelyillä ei ollut vaikutusta hankaversojen nivelvälien pituuteen kummallakaan lajikkeella.</p> <p>Tutkimuksen perusteella kesällä annetulla ProCa-käsittelyllä voidaan lyhentää pääversion pituutta, mutta satopotentiaaliin käsittelyllä ei ole vaikutusta. Käsittelyajankohta on kriittinen, koska kukkasilmujen kehitys näyttäisi häiriintyvän, jos ruiskutus tehdään loppukesällä.</p>			
Avainsanat — Nyckelord — Keywords Gibberelliini, kukinta, vadelman kasvihuonetuotanto, ProCa			
Säilytyspaikka — Förvaringsställe — Where deposited Soveltan biologian laitoksen kirjasto, Tiedekirjasto			
Muita tietoja — Övriga uppgifter — Further information Työn ohjaaja: Pauliina Palonen			

SISÄLLYSLUETTELO

1	JOHDANTO	4
2	KIRJALLISUUSTARKASTELU	5
2.1	Vadelman kasvun vuosikierto	5
2.2	Vadelman kasvihuonetuotanto	8
2.3	Vadelman kasvunsäätäminen	9
2.3.1	Gibberelliinit ja niiden inhibiittorit kasvunsäätäjinä	9
2.3.2	Proheksadioni-kalsiumin vaikutus kasvuun.....	11
3	TUTKIMUKSEN TAVOITE.....	13
4	AINEISTO JA MENETELMÄT.....	13
4.1	Kasvimateriaali ja kesän kasvatusolosuhteet.....	13
4.2	Käsittelyt.....	15
4.2.1	Proheksadioni-kalsiumkäsittely	16
4.2.2	Kontrollikäsittely	16
4.3	Kylmävarastointi	16
4.4	Hyötö kasvihuoneessa	17
4.5	Havainnot ja mittaukset	19
4.5.1	Havainnot kesän kasvatuskauden aikana.....	19
4.5.2	Hiilihydraattianalyysit.....	19
4.5.2.1	Liukoiset hiilihydraatit.....	20
4.5.2.2	Tärkkelys.....	20
4.5.3	Havainnot hyödyn aikana.....	21
4.6	Tulosten käsittely	22
5	TULOKSET	23
5.1	Pääversion kasvu ja nivelvälien pituus	23
5.2	Version ja silmujen hiilihydraattipitoisuus.....	31
5.3	Silmujen puhkeaminen	33
5.4	Kukinta	37
5.5	Hankaversojen kasvu.....	39
5.6	Muut havainnot	41
6	TULOSTEN TARKASTELU	41
6.1	Pääversojen vegetatiivinen kasvu	41
6.2	Hiilihydraattipitoisuudet	44
6.3	Kukinta ja vegetatiivinen kasvu hyödyssä	45
6.4	Yhteenveto ja johtopäätökset	47
7	KIITOKSET.....	48
8	KIRJALLISUUS	49

1 JOHDANTO

Vadelma (*Rubus idaeus* L.) on ruusukasvien heimoon kuuluva kaksivuotinen lauhkean vyöhykkeen kasvi. Suomessa vadelman viljelyala on kasvanut voimakkaasti viimeisten viiden vuoden aikana. Viljelyala oli 473 ha vuonna 2005 ja tuotantoa harjoittavia tiloja oli 782 (Puutarhayritysrekisteri 2005). Kotimaisen vadelman ja mesivadelman sadon määrä oli 608 200 kg vuonna 2005. Vadelman satoaika on hyvin lyhyt ja satohuipun aikaan marjoista on ylitarjontaa. Maailmalla vadelmaa viljellään yleisesti kausi- ja kasvihuoneissa, joissa sato voidaan ajoittaa ajankohtaan, jolloin avomaan marjoja ei ole saatavilla. Avomaan satokauden ulkopuolella vadelmaa tuodaan Suomeen runsaasti. Vuonna 2004 tuoretuonti oli 19 360 kg ja erilaisina säilykkeinä 1 757 509 kg (Ulkomaankauppatilasto 2004).

Marjojen huono kuljetuskestävyys ja tuontivadelman heikompi laatu luovat paineita pidentää kotimaisen vadelman satokautta. Kaksivuotisen kesävadelman peltoviljelyä hankaloittavat talvivauriot, koska ensimmäisen vuoden versoihin muodostuvat silmut ovat arkoja paleltumaan. Tuotannon monipuolistamiseksi on tutkittu mahdollisuuksia viljellä vadelmaa kasvihuoneessa (mm. Kempler 2002, Kempler ym. 2002, Pitsioudis ym. 2002). Vadelman satoindeksi on alhainen muihin marjakasveihin verrattuna. Kasvihuonetuotannossa satoindeksin olisi hyvä olla korkeampi, jotta kasvatustila saataisiin käytettyä tehokkaasti. Tiiviimpikasvuiset vadelmantaimet nostaisivat satoindeksiä.

Vadelma kasvattaa tarpeettoman pitkän pääverson, jonka käsittely on hankalaa kasvihuoneessa. Taimea ei kuitenkaan kannata latvoa, koska silloin menetetään latvan satoisimmat silmut. Ratkaisuna ongelmaan on tutkittu erilaisia kasvunsäätömenetelmiä. Kasvunsäätteet ovat synteettisiä aineita, jotka pystyvät säätelemään versojen kasvua (Rademacher 2000). Yleensä ne säätelevät solujen pituuskasvua tai solunjakautumista muuttamalla gibberelliini- tai auksiinisynteesiä. Kasvunsäätteisiin liittyy ihmisten mielessä kielteisiä mielikuvia, koska aineista jää usein jäämiä satoon. Uudentyyppinen gibberelliinisynteesi-inhibiittori proheksadioni-kalsium (ProCa), on vaaraton kasvunsäädöksi ihmisille, eläimille ja maaperälle (Evans ym. 1999). Kasvihuonevadelman kasvunsäätämiseen ProCa voisi antaa uusia mahdollisuuksia. Sen käytöstä vadelman kasvatuksessa ei ole vielä olemassa julkaistua tutkimusta. Mansikalla (*Fragaria x*

ananassa Duch.) (Black 2004, Mouhu ym. 2006), omenalla (*Malus domestica* Borkh.) (Medjdoub ym. 2005) ja päärynällä (*Pyrus communis* L.) (Smit ym. 2005) saadut tutkimustulokset antavat kuitenkin viitteitä siitä, että ProCa voisi sopia myös vadelman kasvun säätämiseen.

2 KIRJALLISUUSTARKASTELU

2.1 Vadelman kasvun vuosikierto

Vadelma kasvattaa ensimmäisenä vuotena kasvuversot (pääversot), jotka talvehdittuaan tuottavat toisena vuonna sadon (satoversot) (Carew ym. 2000a). Kukat puhkeavat satoversion hankaversoihin. Tällaiset kesälajikkeet ovat Suomessa yleisempiä kuin syyslajikkeet, jotka tuottavat satoa saman vuoden versoilla. Syyslajikkeiden sato ei yleensä ennätä kypsyä meidän oloissamme avomaalla. Tässä pro gradu -tutkielmassa käsitellään ainoastaan kesävadelmaa.

Kasvuversojen kehitys alkaa keväällä juuriston ravintovarastojen (hiilihydraattien) turvin (Whitney 1982). Ne on kerätty edellisenä syksynä, ja ne täydentyvät kevään aikana, kun kasvuversojen lehdet alkavat tuottaa yhteyttämistuotteita. Vadelman kesän kasvurytmi on sigmoidinen, eli kasvu alkaa hitaasti keväällä ja kasvuvauhti kiihtyy keskikesää kohti, jonka jälkeen vauhti hidastuu kasvukauden loppua kohden (Carew ym. 2000a). Kasvurytmiin vaikuttavat ympäristötekijät, erityisesti lämpötila sekä kilpailu yhteyttämistuotteista eri kasvinosien välillä. Sen sijaan veden ja ravinteiden saanti ei vaikuta kasvuun yhtä merkitsevästi. Pääversion kasvu on nopeinta noin 20 °C lämpötilassa (Williams 1959a, Carew ym. 2000a). Ensimmäisen vuoden kasvun aikana silmuja kasvaa pääversoon tasaisin väliajoin koko kasvukauden ajan. Verson pituuskasvun nopeudenmuutokset vaikuttavat nivelvälien pituuteen siten, että version tyvellä ja kärjessä nivelvälit ovat lyhyemmät kuin keskivaiheilla (Koester ja Pritts 2003).

Päivän lyhentyminen ja lämpötilan aleneminen aiheuttavat kasvun päättymisen (Carew ym. 2000a, 2000b). Lehtiä voi muodostua vielä lisää, mutta koska pituuskasvu on päättynyt, latvaan muodostuu tiheästi kasvaneiden lehtien ruusuke (Williams 1959a). Lehdet varisevat ensin alaosaan ja vasta viikkojen kuluttua verson kärkiosista. Tästä

alkaa vadelman lepotila. Suomen ilmastossa kasvin sisäisistä tekijöistä johtuva lepotila eli endodormanssi on vadelmalla syvimmillään loka-syyskuussa (Palonen ja Lindén 1999).

Lepotila ei purkaudu, ennen kuin kasvi on saanut tietyn annoksen kylmyyttä. Lajikkeiden välillä vilutusvaatimukset vaihtelevat. Esimerkiksi 'Tulameen' vaatii 800 tunnin kylmäjakson, jolloin lämpötila on $-2 - +5$ °C (Koester ja Pritts 2003). Jos vilutusvaatimus ei täyty, silmut puhkeavat heikosti, kukinta on vähäistä ja sadosta tulee heikko. Paksujen versojen ja versojen alaosissa olevat silmut vaativat pidemmän vilutusjakson kuin ohuissa versoissa ja kärkiosissa olevat silmut (Måge 1975). Vilutusvaatimus voi olla näillä paksujen versojen silmuilla jopa 1000 tuntia (Koester ja Pritts 2003). Suomessa vadelmaa avomaalla viljeltäessä sen vilutusvaatimus täyttyy varmasti joka vuosi.

Kukka-aiheet indusoituvat hankasilmuihin syksyllä vadelman valmistautuessa lepotilaan (Williams 1960, Moore ja Caldwell 1985). Kukka-aiheet muodostuvat ensin kärjen silmuihin ja sen jälkeen pääversion alempiin silmuihin (Crandall ja Chamberlain 1972). Jokaiseen niveleen kehittyy primaarisilmu ja sen viereen pienempi sekundaarisilmu. Näihin molempiin kehittyy kukka-aiheita, mutta yleensä vain primaarisilmu puhkeaa, ja sekundaarisilmu puhkeaa vain, jos primaarinen vahingoittuu (Moore ja Caldwell 1985). Verson tyvellä oleviin muutamiin silmuihin ei kehity ollenkaan kukka-aihetta (Williams 1959b). Kukkapohjus, verholehdet ja heteet alkavat erilaistua heti kukka-aiheiden kehityttyä syksyllä, mutta erilaistuminen jatkuu keväällä (Moore ja Caldwell 1985).

Seuraavana keväänä hankasilmuista puhkeavat hankaversot ja niihin kehittyvät kukinnot pääversion kärjestä alkaen (Carew ym. 2000a). Kukinta ei usein jatku koko pääversion matkalla ja version alaosassa olevat silmut eivät kasvata hankaversoa. Ohuissa pääversoissa hankasilmut puhkeavat aikaisemmin kukkaan kuin paksuissa pääversoissa, mutta paksuissa versoissa kehittyy suurempi sato (Crandall ym. 1974). Paksujen versojen silmuissa on enemmän liukoisia hiilihydraatteja ja tärkkelystä kuin ohuimpien versojen silmuissa, mikä osaltaan vaikuttaa kukintaan ja satoon.

Ympäristötekijät vaikuttavat kukka-aiheiden kehittymiseen. Erityisesti lyhyt päivänpituus yhdessä alhaisen lämpötilan kanssa saa aikaan kukka-aiheiden muodostumisen hankasilmuihin (Williams 1960, Moore ja Caldwell 1985). Eräät tutkimukset kuitenkin osoittavat, että alhainen lämpötila ei ole välttämätön vadelman kukka-aiheiden muodostumiselle (Vasilakakis ym. 1979). Lämpimässä ilmastossa kukka-aiheet erilaistuvat pidemmälle ennen talvea kuin kylmässä ilmanalassa. Myös kasvukauden pituuden vaihtelut samalla kasvupaikalla vaikuttavat kehitykseen. Kehitys pysähtyy keskitalven ajaksi ja jatkuu taas keväällä lämpötilan kohottua. Korkea valon intensiteetin on kasvihuoneolosuhteissa todettu aikaistavan kukinnan alkua (Carew ym. 2000a). Samoin myös päivänpituuden kasvattaminen lähes 17 tuntiin aikaistaa kukinnan alkua.

Vadelman juuristo varastoi lepokautta varten suuria määriä hiilihydraatteja, jotka tuotetaan versoissa kesän aikana (Whitney 1982). Juuriston hiilihydraattivarastojen turvin seuraavan kevään kasvu voi alkaa. Keväällä nopean kasvun aikana juuriston ja versojen hiilihydraattivarastot ovat alhaisimmalla tasolla, ennen kuin uudet yhteyttämistuotteet ehtivät kertyä versoon. Hiilihydraattien pääkuljetusmuoto vadelmalla on sakkaroosi, joka liikkuu versossa molempiin suuntiin (Burley 1961). Sokerien varastomuoto on tärkkelys, joka muutetaan liukoiseksi hiilihydraateiksi (glukoosiksi, fruktoosiksi ja sakkaroosiksi) talven aikana (Crandall ym. 1974).

Hiilihydraattien määrät vaihtelevat eri kasvin osissa. Loka-marraskuussa vadelman liukoisten hiilihydraattien pitoisuus kasvaa ja tärkkelyksen pitoisuus vähenee (Palonen 1999). Liukoisten hiilihydraattien määrä vähenee talven aikana maaliskuulle asti, kunnes huhtikuussa kasvun alkaessa niiden pitoisuus taas kasvaa. Talvella vadelman silmuissa on enemmän liukoisia hiilihydraatteja kuin versoissa. Sakkaroosin pitoisuus on talviaikaan suurempi versoissa kuin silmuissa.

Vuodenaikaiset vaihtelut vadelman silmujen ja versojen hiilihydraattipitoisuuksissa ovat yhteydessä kylmänkestävyyteen ja ilman lämpötilaan (Palonen 1999). Tärkkelyksen pitoisuus vähenee ja liukoisten hiilihydraattien pitoisuus kasvaa kylmänkestävyyden kehittyessä syksyllä, ja keväällä muutokset ovat päinvastaiset. Liukoisten hiilihydraattien muutokset johtuvat etupäässä kohonneista sakkaroosipitoisuuksista. Sakkaroosin määrä voi olla täysin karaistuneen kasvin versoissa yli viisinkertainen ja

silmuissa jopa 12-kertainen karaistumattomaan verrattuna. Mitä suurempi on sakkaroosin osuus suhteessa glukoosi- ja fruktoosipitoisuuksiin, sitä paremmat mahdollisuudet kasvilla on kestää kylmää. Hiilihydraattipitoisuuksilla on myös vaikutusta sadon määrään, koska lepotilan aikana kasvit kuluttavat hiilihydraattivarastoja, joita ne tarvitsevat myös seuraavan kevään kasvuun.

2.2 Vadelman kasvihuonetuotanto

Monissa Euroopan maissa (Hollanti, Belgia, Saksa, Espanja ja Iso-Britania), Yhdysvalloissa ja Kanadassa vadelmaa viljellään myös kasvi- ja kasvihuoneissa (Kempler 2004). Näin pystytään pidentämään satokautta sekä ajoittamaan sato siihen aikaan, kun avomaalta tuotettuja vadelmia ei ole saatavilla. Kasvi- ja kasvihuoneviljelmillä kesävadelman kasvatusvaihe (1. vuoden kasvu) on eriytetty sadontuotannosta (2. vuoden kasvu). Kasvatusvaiheen jälkeen taimet siirretään vilutusvaatimuksen täyttämiseksi kylmävarastoon, josta niitä voidaan ottaa hyötöön kasvihuoneeseen. Siirtämällä taimia hyötöön porrastetusti saadaan satokautta pidennettyä. Tällaisia kylmävarastoituja taimia kutsutaan frigotaimiksi.

Liian pitkä varastointi vähentää sadon määrää (Carew ym. 2000b), joten siirto kylmävarastosta hyötöön kannattaa tehdä mahdollisimman pian vilutustuntien kerryttyä täyteen (Koester ja Pritts 2003). Kylmävarastoinnin aikana vadelma käyttää hiilihydraattivarastoja elintoimintojen ylläpitoon, joita se tarvitsee myös kukintaan ja sadonmuodostukseen.

Tuotantokustannuksiltaan vadelma on melko edullinen kasvi verrattuna muihin kasvihuoneessa tuotettaviin kasveihin. Sen viljelylämpötila ja valontarve on vähäisempää kuin esimerkiksi tomaatin ja kurkun (Kempler ym. 2002, Ruottinen 2003). Kanadassa ja Yhdysvalloissa vadelmaa viljellään talvella kasvihuoneissa, jotka ovat kesällä muussa käytössä. Näin tilankäyttöä saadaan tehostettua. (Kempler ym. 2002, Koester ja Pritts 2003). Kasvihuoneessa viljeltyt vadelmat ovat usein suurempia ja tasalaatuisempia, eivätkä kasvitaudit ja tuholaiset vaivaa niitä yhtä paljon kuin avomaalla. Suljetussa kasvihuoneessa kukkien pölytyksestä pitää kuitenkin huolehtia

itse. Yleisin tapa on käyttää pölyttäjinä kimalaisia, jotka tuodaan kasvihuoneeseen (Kempler ym. 2002, Koester ja Pritts 2003).

2.3 Vadelman kasvunsäätäminen

Vadelman kasvunsäätämistä on tutkittu erityisesti syysvadelmalla. Sen kasvunsäädössä on käytetty daminozidea, paclobutrazolia ja ethephonia, jotka ovat kasvattaneet sadon määrää (Braun ja Garth 1984, 1986). 'Heritage' -syysvadelmalla daminozide on lisännyt kukintojen määrää ja paclobutrazol on lyhentänyt versojen pituutta ja nivelien lukumäärää (Goulart 1989). Ancymidolilla ja chlormequatilla (cycocel) ei ole osoitettu olevan vaikutusta syysvadelman kasvuun (Goulart 1989). Daminozide, paclobutrazol, chlormequat ja ancymidol vaikuttavat kasvin gibberelliinisynteesiin (Rademacher 2000) niin kuin useimmat kasvunsäätteet (Kuva 1).

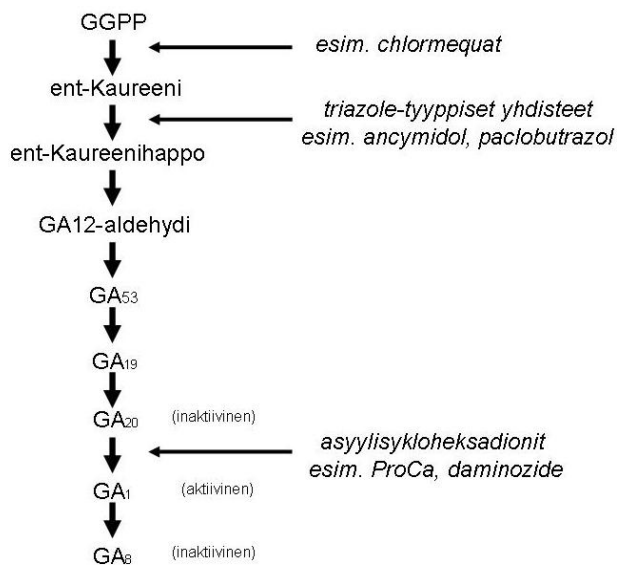
2.3.1 Gibberelliinit ja niiden inhibiittorit kasvunsäätäjinä

Gibberelliinit (GA) ovat diterpenoidirakenteisia 19–20-hiiliatomisia kasvihormoneita (Taiz ja Zaiger 2002). Erilaisia gibberelliiniyhdisteitä tunnetaan tällä hetkellä yli 125 kappaletta, ja ne eroavat toisistaan kemiallisen rakenteensa perusteella. Gibberelliinit pidentävät soluja sekä lisäävät solun jakautumista. Ne vaikuttavat version pituuskasvuun, ja monet gibberelliinin kasvunsäädön sovellukset säätelevät nivelvälien kasvua. Gibberelliinit vaikuttavat myös siementen itämiseen, kukkimiseen ja kukkien ja hedelmien muodostumiseen sekä säätelevät kasvin siirtymistä nuoruusvaiheesta aikuisvaiheeseen.

Gibberelliini indusoi kukkimista tietyillä Rosaceae-heimon kasveilla, jotka muuten vaativat kylmäjakson tai pitkänpäivän (Taiz ja Zaiger 2002). Se myös vaikuttaa kaksineuvoisilla kukilla emikukkien syntymiseen. Vadelmalla gibberelliini vaikuttaa silmujen lepotilan syvyyteen ja kukintojen puhkeamiseen keväällä (Måge 1976). Vadelman silmujen lepotila syveni, ja kukka-aiheet muodostuivat kuukautta myöhemmin kasveilla, joihin oli ruiskutettu 75–150 ppm GA₃:a elokuun puolivälissä. Monilla hedelmäpuilla GA₃ ja GA₇ häiritsevät kukkasilmujen kehitystä (Hoad 1984).

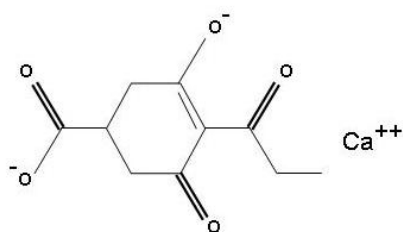
Mansikalla kuitenkin ulkoisesti annettu GA_3 (50 mg l^{-1}) lisäsi kukkasilmujen määrää, nopeutti kukka-aiheiden kehittymistä ja kiihdytti kukintaa ympäristötekijöistä riippumatta (Paroussi ym. 2002). Suuret GA_3 -pitoisuudet (200 mg l^{-1}) lisäsivät epämuodostuneiden kukkien ja hedelmien määrää ja tätä kautta alensivat satoa mansikalla.

Korkeimmilla kasveilla gibberelliinin GA_1 -muoto on aktiivinen ja vaikuttaa versonkasvuun. Sen esiaste on GA_{20} , jonka rakenne poikkeaa GA_1 -muodosta vain yhden hydroksyyliyhdyntä (OH) suhteen. GA_{20} :een liittyy 3β -hydroksylaatioissa OH -ioni, ja se muuttuu GA_1 :ksi (Taiz ja Zaiger 2002). Tietyillä kasvunsääteillä voidaan vaikuttaa tähän biosynteesireitin vaiheeseen (Kuva 1). Nämä kasvunsäätteet jäljittelevät 2-oksoglutaraattihappoa, joka toimii dioksygenaasientsyymien kosubstraattina reaktiossa gibberelliinin muuttuessa GA_{20} :stä GA_1 :ksi. Asyyliisykloheksadionit (acylcyclohexanedion), esimerkiksi proheksadioni-kalsium (ProCa), trinexapac-etyyli ja daminozide estävät 3β -hydroksylaation ja näin ollen inhiboivat gibberelliinisynteesiä (Roberts ym. 1997, Rademacher 2000). Ne lisäävät GA_{20} :n määrää käsitellyissä kasvinosissa estämällä gibberelliinin muuttumista GA_1 -muotoon (Roberts ym. 1997). Vaikutus on ohimenevä (Griggs ym. 1991). Näitä aineita käytetään kasvunsäätteinä. Monet kasvunsäätteet ovat myrkyllisiä, esimerkiksi daminoziden käyttö on vähentynyt aineen toksikologisten vaikutusten takia (Rademacher 2000).



KUVA 1. Kaavio gibberelliinisynteesistä ja erilaisten biosynteesiä inhiboivien kasvunsääteiden vaikutuskohdista (Evans ym. 1999, Rademacher 2000).

ProCa (tuotenimet Apogee™, BAS 125W ja Regalis®) on uudentyyppinen kasvunsäädö, joka on käytössä mm. Yhdysvalloissa (Kuva 2). Sitä ei toistaiseksi ole myynnissä Suomessa. Se on vaaraton ihmiselle, eläimille sekä maan mikro-organismeille (Evans ym. 1999). Kasvit absorboivat ProCa:n lehtien kautta, joista se siirtyy akropetaalisesti kasvupisteisiin. ProCa:n vaikutus ei säily versoissa seuraavalle kasvukaudelle, ja yleensä vaikutus on voimakkain käsitellyissä versoissa (Evans ym. 1999). ProCa puoliintuu kasveissa muutamassa viikossa ja maassa alle viikossa. Vapautuvat yhdisteet ovat suurimmaksi osaksi hiilidioksidia (Evans ym. 1999).



KUVA 2. Rakennekuva proheksadioni-kalsiumista (Evans ym. 1999, Rademacher 2000).

2.3.2 Proheksadioni-kalsiumin vaikutus kasvuun

ProCa:n on todettu vaikuttavan kasvuun mm. vehnällä (*Triticum aestivum* L. Kanzler-lajike), öljyrapsilla (*Brassica napus* L. ssp. *napus* Lirajet-lajike), mansikalla (*Fragaria x ananassa*), omenalla (*Malus domestica*) ja päärynällä (*Pyrus communis*) (Grossmann ym. 1994, Black 2004, Medjoub ym. 2005, Smit ym. 2005). Kaikissa tutkimuksissa version pituuskasvu väheni nivelvälien lyhentyessä. Vaikutus johtui GA₁:n määrän vähenemisestä. Vehnällä ja öljyrapsilla tehdyissä tutkimuksissa suuret ProCa-pitoisuudet (> 60 µM) ovat nostaneet myös sytokiniinin määrää versoissa (Grossmann ym. 1994). Kohonneella sytokiniinin pitoisuudella on vaikutusta verso–juuri-suhteeseen niin, että juurten tuorepaino kasvaa (Grossmann ym. 1994).

ProCa hillitsee omenan sivuversojen kasvua, mutta ei vaikuta silmujen lukumäärään (Medjdoub ym. 2005). Yhdysvalloissa omenatarhoilla ProCa:a käytetään, koska se vähentää leikkaustarvetta (Greene 1999). Tietyillä päärynälajikkeilla myös hedelmänalkujen määrä on lisääntynyt (Smit ym. 2005). ProCa-käsittely lisää punaisen värin muodostumista tietyillä omenalajikkeilla, mutta vaikutus voi johtua lisääntyneestä valon määrästä hedelmän raakileiden pinnalla, kun versot ovat jääneet lyhyemmiksi (Greene 1999). Toisissa kokeissa omenan versojen tuore- ja kuivapainoihin käsittelyllä ei ole ollut vaikutusta (Medjdoub ym. 2005).

ProCa:n vaikutuksista vadelman kasvuun on olemassa hyvin vähän kirjallista tietoa. Sen on todettu vähentävän 'Ariadne' -syysvadelman pituuskasvua 20–45 %, mutta samalla kukkien määrä väheni 27–38 % (Palonen ja Mouhu 2006). Syysvadelman kukintainduktio tapahtuu yhtä aikaa kasvuvaiheen aikana, joten käsittelyn vaikutusta kukintaan ei pystytä sulkemaan pois (Carew ym. 2000a). Koska kesävadelmalla kukintainduktio tapahtuu vasta syksyllä kasvukauden päättyttyä, on mahdollista, että kesän alussa tehty ProCa-käsittely ei vaikuttaisi seuraavan vuoden kukintaan.

Mansikalla ProCa vähentää rönsyjen muodostumista ja lisää juurakon haaroittumista käsittelyvuotena (Black 2004, Mouhu ym. 2006) sekä lisää merkittävästi satoa seuraavana vuotena (Mouhu ym. 2006). Lisäys johtuu juurakon haarojen kärkisilmujen lisääntymisestä, joihin kukkavanat kasvavat. Samoin hoitotyöt helpottuvat, kun mekaanisesti poistettavia rönsyjä ei kasva. Toisissa tutkimuksissa myös taimien korkeus ja lehtiala on ollut pienempi ProCa-käsitellyillä mansikoilla kuin käsittelemättömillä (Reekie ym. 2005). Käsittelyn on todettu lisäävän myös mansikan rönsytaimien juuren kuivapainoa ja vähentävän lehtiruotien kuivapainoa (Reekie ym. 2005). Laaja juuristo suhteessa kasvustoon parantaa mansikan vedenottoa ja siten stressinkestävyyttä.

ProCa-käsittely lisää versojen ja lehtien hiilihydraattipitoisuutta omenapuulla (Owens ja Stover 1999, Guak ym. 2001). Hiilihydraattipitoisuuden lisääntyminen johtuu erityisesti tärkkelyksen lisääntymisestä. Myös käsittelyvuoden hedelmien tärkkelyspitoisuus on noussut (Greene 1999). Mansikalla tehdyissä tutkimuksissa ProCa ei ole vaikuttanut glukoosin, sakkaroosin tai tärkkelyksen pitoisuuksiin eri kasvinosissa (Mouhu ym. 2006). Jos ProCa lisää kesävadelman versojen sokeripitoisuutta, se voisi parantaa

vadelman talvenkestävyyttä sekä vähentää kylmävarastoinnin aikana tapahtuvaa satopotentialin vähentymistä.

3 TUTKIMUKSEN TAVOITE

ProCa:n vaikutusta kesävadelman kasvuun ei ole tutkittu. Kasvihuonetuotantoon tarvittaisiin kompakteja taimia, joiden satopotentiali on suuri. Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää, miten ProCa vaikuttaa kahden kesävadelmalajikkeen ensimmäisen vuoden versojen vegetatiiviseen kasvuun ja edelleen sadontuottokykyyn.

Tutkimushypoteesit ovat seuraavat:

- 1) ProCa-käsittely vähentää vadelmantaimien vegetatiivista kasvua.
- 2) ProCa-käsittely suurentaa vadelmantaimien satopotentialia.
- 3) ProCa-käsittely lisää vadelman versojen ja silmujen hiilihydraattipitoisuutta.

4 AINEISTO JA MENETELMÄT

Koe toteutettiin Helsingin yliopiston soveltavan biologian laitoksella vuosina 2005–2006 osana Vadelman kasvun hallinta ja satopotentialin optimointi kasvihuonetuotannossa -hanketta. Kokeessa oli kolme osaa: 1) kesän kasvatusvaihe avomaalla, jolloin taimet käsiteltiin ProCa:lla sekä mitattiin version pituutta ja nivelien lukumäärää, 2) kylmävarastointivaihe kellarissa, jota ennen otettiin hiilihydraattinäytteet, 3) hyötö kasvihuoneessa, jolloin mitattiin silmujen puhkeamista ja kukintaa.

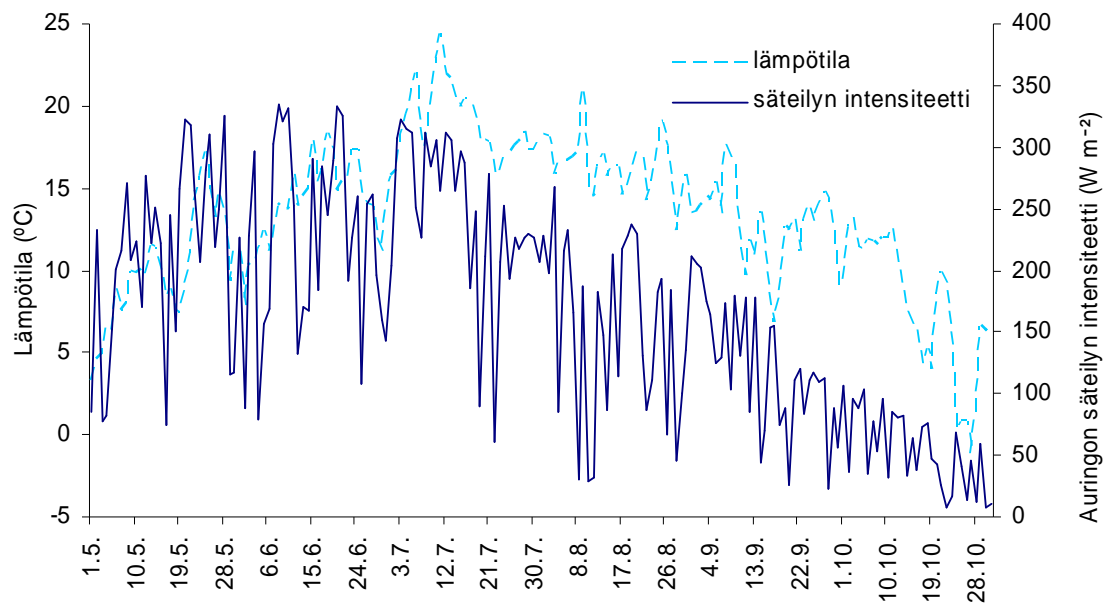
4.1 Kasvimateriaali ja kesän kasvatusolosuhteet

Koemateriaalina käytettiin vadelman (*Rubus idaeus* L.) taimia. Kokeessa oli kaksi kesävadelmalajiketta: kanadalainen 'Tulameen' (120 kpl) ja skotlantilainen 'Glen Ample' (150 kpl), joita molempia viljellään yleisesti kasvihuoneessa maailmalla. Tulameenin taimet oli lisätty Ruotsin valiotaimiasemalla (Elitplantstationen, Balsgård,

Kristianstad) helmikuussa 2004 ja alasleikattu syksyllä, jonka jälkeen niitä oli kylmävarastoitu. Tulameen-lajikkeen taimet olivat lepotilaisia ruukkutaimia, kun ne saapuivat Suomeen 2.5.2005. Niitä pidettiin päivät ulkona ja yöt sisätiloissa. Taimet ruukutettiin 3,5 l:n ruukkuihin 6.5.2005 (Kekkilän karkea ruukutusseos, Kekkilä Oyj, Tuusula). Glen Ample -lajikkeen taimet olivat vanhaa varastoa, ja niitä oli varastoitu kellarissa soveltavan biologian laitoksella, kunnes ne siirrettiin ulos 18.5.2005. Kasvussa olevat taimet alasleikattiin.

Taimet siirrettiin avomaalle Helsingin yliopiston (60°13'41 N; 25°1'17 E) Viikin koekentälle 7.5.2005 ('Tulameen') ja 18.5.2005 ('Glen Ample'). Glen Ample -lajikkeen taimille annettiin ylimääräinen lannoitus (NPK 12-5-27 Turve-Superex, Kekkilä Oy, Tuusula) 20.6.2005 5 ml/ruukku. Ruukkuja kasteltiin tippukastelulla, jonka mukana annettiin kastelulannoitus (NPK 12-5-27 Turve-Superex, Kekkilä Oy, Tuusula). Jokaiseen ruukkuun kasvatettiin yksi pääverso ja muut juuriversot leikattiin tarpeen mukaan pois. Kesäkuun alun kylmyys hidasti taimien kasvua, joten koekäsittelyä voitiin tehdä vasta kesäkuun loppupuolella. Käsittelyvaiheessa Tulameen-lajikkeen taimet olivat keskimäärin 26 cm korkeita ja niissä oli 10 lehteä. Glen Ample -lajikkeen taimet olivat keskimäärin 18 cm korkeita, ja niissä oli 10 lehteä. Silmämääräisesti arvioiden taimet vaikuttivat elinvoimaisilta.

Kylmän alkukesän jälkeen kasvatusolosuhteet olivat normaalit (Kuva 3). Taimien kasvaessa kesän kovat tuulet kaatoivat ruukkuja, jolloin versot pyrkivät kääntymään valoa kohden ja muutamat pääversot kasvoivat mutkalle. Erityisesti illalla sekä viikonlopun aikana puhaltanut kova tuuli ehti aiheuttaa versojen kääntymistä. Elokuussa taimet tuettiin vaakasuoriin naruihin, mikä vähensi kaatuilua. Elokuun aikana kasvustoa vaivasivat lehtikirvat (*Aphididae sp.*) sekä tunnistamattomat lehtimadot, jotka tuhosivat lehtiä sekä kasvupisteitä joistakin taimista. Edellä mainitut tekijät onnistuivat tuhoamaan 16 'Tulameen' -taimaa (13 %) ja 12 'Glen Ample' -taimaa (8 %). Laajempien tuhojen välttämiseksi kasvit ruiskutettiin malationivalmisteella.



KUVA 3. Vuorokauden keskilämpötila ja auringon säteilyn intensiteetti vuorokaudessa 1.5.–31.10.2005 Helsingin yliopisto, Viikin koekenttä.

4.2 Käsittelyt

Kaikki taimet käsiteltiin ProCa-liuoksen eri konsentraatioilla kasvatuskauden alussa ja osalle taimista käsittely uusittiin neljän viikon kuluttua ensimmäisestä käsittelystä. Näin ollen koekäsittelyitä oli kuusi:

1. kontrolli 1 (vesi)
2. ProCa 100 (ProCa 100 ppm)
3. ProCa 200 (ProCa 200 ppm)
4. kontrolli 2 (vesi + vesi)
5. ProCa 100 + 100 (ProCa 100 ppm + ProCa 100 ppm)
6. ProCa 200 + 200 (ProCa 200 ppm + ProCa 200 ppm).

Tulameen-lajikkeen ensimmäinen käsittely suoritettiin 21.6.2005 ja Glen Ample -lajike käsiteltiin viikon kuluttua tästä 28.6.2005. Toinen käsittely tehtiin neljän viikon kuluttua ensimmäisestä, 19.7.2005 'Tulameenille' ja 26.7.2005 'Glen Amplelle'.

Käsittelyiden vahvuudet olivat samaa suuruusluokkaa, jotka mansikalla ja omenalla vähensivät vegetatiivista kasvua (Medjdoub ym. 2005, Mouhu ym. 2006). Kuhunkin käsittelyyn tulevat taimet valittiin arpomalla, ja jokaisessa käsittelyssä oli 20 kasvia (kerrannetta) Tulameen -lajiketta ja 25 kasvia (kerrannetta) Glen Ample -lajiketta. Käsittelyiden jälkeen taimet satunnaistettiin täydellisesti koekentälle.

4.2.1 Proheksadioni-kalsiumkäsittely

Proheksadioni-kalsiumia (BAS 125 10 W 10 %_{w/w}) liuotettiin milli-Q-veteen (Milli-Q Plus PF, Millipore) $1,0 \text{ g} \cdot \text{l}^{-1}$ tai $2,0 \text{ g} \cdot \text{l}^{-1}$, jolloin vaikuttavan aineen pitoisuuksiksi tuli 100 ppm ja 200 ppm. Käsittelyt tehtiin suihkuttamalla ainetta kasvin lehdille käsisumutinpullolla niin, että kasvin kaikki lehdet kastuivat. Toimenpide tehtiin vetokaapissa, jolloin pystyttiin estämään aineen kulkeutuminen toisiin koekasveihin. Ensimmäisessä käsittelyssä oli 40 kappaletta 'Tulameen' -taimia, joiden ruiskuttamiseen kului 400 ml ProCa-liuosta (100 ppm tai 200 ppm). 'Glen Ample' -taimia oli 50 kappaletta, ja niiden käsittelyyn kului 450 ml ProCa-liuosta (100 ppm tai 200 ppm). Toisessa käsittelyssä oli 20 kappaletta Tulameen-lajikkeen taimia, joiden käsittelyyn kului 330 ml ProCa-liuosta. Glen Ample -lajiketta oli toisessa käsittelyssä 25 kappaletta, ja niiden käsittelyyn kului 500 ml ProCa-liuosta.

4.2.2 Kontrollikäsittelyt

Kontrollikäsittelyt suoritettiin samalla tavalla kuin koekäsittelyt, mutta pelkästään milli-Q-vedellä (Milli-Q Plus PF, Millipore).

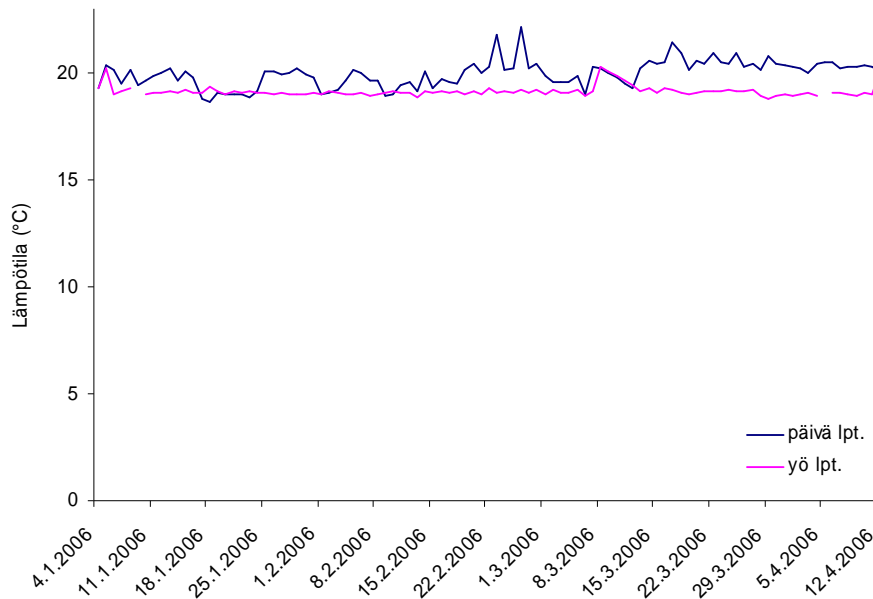
4.3 Kylmävarastointi

Taimet siirrettiin kylmävarastoon (+5 °C, 50 % RH) 25.10.2005, jolloin niiden arveltiin tuleentuneen. Edellinen yö oli ollut hyvin kylmä (-6 °C kasvustossa) ja osa ruukuista sekä lähes kaikki lehdet olivat jäässä, kun siirto aamulla aloitettiin. Tulameen-lajike näytti silmämääräisesti saavuttaneen lepotilan hyvin, sillä sen lehdistä oli pudonnut

suurin osa. Sen sijaan Glen Ample -lajikkeen lehdet olivat hyvin vihreät, ja niistä oli pudonnut vain noin puolet. Kaikki taimet siirrettiin varastoon samanaikaisesti, täydellisesti satunnaistettuun järjestykseen. Silmu- ja versonäytteet hiilihydraattianalyysiä varten otettiin 30 Glen Ample -taimesta varastoon siirtämisen yhteydessä. Taimia varastoitiin hyödyn aloittamiseen 4.1.2006 saakka. Varastointiaika oli 71 vrk, eli taimet saivat 1704 vilutustuntia. Kirjallisuuden mukaan sen pitäisi riittää näiden lajikkeiden levon purkautumiseen (Koster ja Pritts 2003).

4.4 Hyötö kasvihuoneessa

Kylmävarastoinnin jälkeen 15 tainta / käsittely siirrettiin hyötöön kasvihuoneosastoon 4.1.2006. Valojakso oli 15 tuntia kello 7–22, valon intensiteetti keskimäärin $263 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (vaihteluväli 204–336) 100 cm korkeudella ruukkujen tasosta. Osaston lämpötila oli päivällä (kello 7–22) 20°C ja yöllä (22–7) 19°C (Kuva 4). Suhteellinen kosteus oli osastossa 58 % RH (vaihteluväli 22–100 %). Osasto oli jaettu kuuteen lokeroon 2 metriä korkeilla valkoisilla muoveilla, jotka tasoittivat säteilyeroja lokeroiden välillä. Kussakin lokerossa oli viisi kasvilamppua, asennusteho 120 W m^{-2} (SON-T 400 W, Philips), ja sinne oli sijoitettu kahteen riviin yhteensä 30 koetainta sekä suojataimet rivien molempiin päihin. Kasvit oli täydellisesti satunnaistettu kasvihuoneosastoon. Ne oli nostettu lattiasta irti noin 40 cm:n korkeuteen kouruille.



KUVA 4. Kasvihuoneosaston päivä- ja yölämpötilat hyödyn aikana 4.1.–12.4.2006.

Kasveja kasteltiin tippukastelulla, jonka joukossa annettiin kastelulannoitus kahden lannoitteen seoksena 1:1 (NPK 7-4-27 Mansikan täyslannos, Kemira Growhow ja NPK 14-0-38 Kaliumnitraatti, Kemira Growhow). Lannoiteliuoksen johtoluku oli tammikuun ajan 0,5 mS, ja se nostettiin 6.2.2006 kasvun lähdettyä kunnolla vauhtiin 1,0 mS:iin. Korkeamman lannoitetason aikana lannoituksessa oli viikon tauko (27.2.–6.3.2006), jolloin kasveja kasteltiin vain vedellä. Hyödyn aikana kasvaneet juuriversot leikattiin pois ja rikkaruohot kitkettiin. Hyödyn aluksi jouduttiin tekemään yksi ennaltaehkäisevä kasvinsuojelukäsittely punkkeja vastaan tammikuun toisella viikolla (Vertimec, Syngenta Oy). Kasvatuksen aikana 'Tulameenia' vaivasi jokin kasvitauti tai kasvuhäiriö, jonka aiheuttajaa ei saatu selville. Tauti aiheutti johtojänteiden tukkeutumista, minkä seurauksena lehdet kellastuivat ja kasvi kuoli. Samoin hiukan liian korkea valotasoa aiheutti kloroottisia vaurioita lehtiin. Näiden seurauksena Tulameen-lajiketta tuhoutui 8 kpl (9 %) ja Glen Ample -lajiketta 2 kpl (2 %).

4.5 Havainnot ja mittaukset

4.5.1 Havainnot kesän kasvatuskauden aikana

Kokeen alussa ensimmäisen ProCa-käsittelyn yhteydessä ('Tulameen' 21.6.2005 ja 'Glen Ample' 28.6.2005) mitattiin taimien pääversion pituus ja tyven halkaisija sekä laskettiin lehtien lukumäärä. Kesän aikana havainnoitiin version pituuskasvua ja uusien lehtien lukumäärää kerran viikossa. Syyskuun alusta lähtien havainnointi tehtiin kahden tai kolmen viikon välein. Kesän kasvatuskauden päättyessä (25.10.2005) mitattiin jälleen tyven halkaisija. Pääversion pituus mitattiin ruukussa olevasta maanpinnasta version kasvupisteeseen 1 cm:n tarkkuudella. Kasvatuksen aikana tuulen ja valon vaikutuksesta mutkalle kääntyneiden versojen pituusmittauksessa käytettiin apuna narua. Tyven paksuus mitattiin 1 cm:n korkeudelta ruukun maanpinnasta työntömitalla 0,1 mm:n tarkkuudella. Uusiksi lehdiksi määriteltiin ne lehdet, joiden punainen väritys oli hävinnyt ja muuttunut vihreäksi. Viimeisin laskettu lehti merkittiin tussilla jokaisen laskentakerran yhteydessä.

4.5.2 Hiilihydraattianalyysit

Hiilihydraattianalyysit tehtiin jokaisen käsittelyn viidestä 'Glen Ample' -taimesta eli yhteensä 30 taimesta. Näytteet otettiin kesän kasvatuskauden päättyessä, kun muut taimet siirrettiin kylmävarastoon (25.10.2005). Kasvista kerättiin kaikki silmut lukuun ottamatta kärjen kolmea ylintä silmua sekä tyven kymmentä alimmaista. Lisäksi pääversion keskikohdasta leikattiin neljän nivelvälin mittainen pala. Näytteet pakastettiin nestetypessä, minkä jälkeen niitä säilytettiin pakastimessa (-80 °C). Näytteet kylmäkuivattiin (GAMMA 2-20, Christ, Saksa) 45 tuntia 30 minuuttia ja loppukuivaus 2,0 tuntia. Kylmäkuivurin hyllyn lämpötila oli +20 °C, kylmäkierukan lämpötila -86 °C. Kylmäkuivatut versot jauhettiin sähkömyllyllä (Cyclotec 1093, Sample mill, Kanada) ja kylmäkuivatut silmut jauhettiin käsin Eppendorf-putkissa lasisauvalla.

4.5.2.1 Liukoiset hiilihydraatit

Liukoisten hiilihydraattien määrittämistä varten 60 mg versonäytteitä uutettiin 5 ml:aan 80-prosentista etanolia ja 40 mg silmunäytteitä uutettiin 3 ml:aan 80-prosentista etanolia sekä sentrifugattiin (Sigma 3-12, Braun Biotech International, Saksa) $1600 \times g$ 10 minuutin ajan. Supernatantti otettiin talteen fuugaamisen jälkeen. Uuttaminen tehtiin kolmesti. Ensimmäisellä uuttokerralla näytteitä inkuboitiin $+70\text{ }^{\circ}\text{C}$:n vesihauteessa 30 minuutin ajan invertaasin inaktivoimiseksi ja jälkimmäisillä kerroilla huoneenlämmössä ($+23\text{ }^{\circ}\text{C}$) 30 minuutin ajan. Liukoiset hiilihydraatit kertyivät supernatanttiin.

Liukoisten hiilihydraattien pitoisuus määritettiin entsymaattisesti käyttäen määrityskittää (sucrose, D-fruktoose and D-glucose; Megazyme International Ireland Ltd.). Näytteistä määritettiin sakkaroosi lisäämällä niihin β -fruktosidaasia, joka muuttaa sakkaroosin D-glukoosiksi ja D-fruktoosiksi. D-glukoosi muutettiin heksokinaasin avulla glukooosi-6-fosfaatiksi (G-6-P). Näytteeseen lisättiin NADP^+ :tä, joka reagoi glukooosi-6-fosfaatin kanssa. Dehydrogenaasi-entsyymien avulla glukooosi-6-fosfaatti muuttui glukonaatti-6-fosfaatiksi ja nikotiiniamidi-adeniini dinukletidiksi (NADPH) sekä samalla syntyi protoni. Nikotiiniamidi-adeniini dinukleotidin (NADPH) määrä mitattiin spektrofotometrillä (PharmaSpec UV-1700, Shimadzu, Japani) 340 nm:n aallonpituudella, mistä saatu tulos vastaa D-glukoosin määrää.

Näytteeseen lisättiin heksokinaasia, joka katalysoi ATP:n kanssa myös D-fruktoosin fosforyloitumista fruktoosi-6-fosfaatiksi (F-6-P). Näytteen absorbanssi mitattiin (340 nm). Lopuksi lisättiin fosfoglukooosi-isomeraasia, mikä muutti F-6-P:n glukooosi-6-fosfaatiksi (G-6-P), jonka määrä mitattiin spektrofotometrillä 340 nm:n aallonpituudella. Liukoisten hiilihydraattien pitoisuudet laskettiin kitin valmistajan ohjeiden mukaan. Jokaisesta näytteestä tehtiin kaksi tai tarvittaessa kolme rinnakkaismääritystä.

4.5.2.2 Tärkkelys

Tärkkelyksen määrittämistä varten 100 mg versonäytteitä ja 50 mg silmunäytteitä uutettiin 5 ml:aan 80 prosentista etanolia. Näytteitä inkuboitiin $80\text{--}85\text{ }^{\circ}\text{C}$ vesihauteessa 5 minuuttia ja sekoituksen jälkeen lisättiin 5 ml 80 % etanolia. Näytteet sentrifugattiin

(Sigma 3-12, Braun Biotech International, Saksa) $1000 \times g$ 10 minuutin ajan. Supernatantti poistettiin ja pelletti pestiin 10 ml:lla 80 prosentista etanolia. Näytteet sentrifugattiin $1000 \times g$ 10 minuutin ajan. Supernatantti poistettiin, jolloin kaikki liukoiset hiilihydraatit olivat uuttuneet pois ja pellettiin jäi vain tärkkelys.

Tärkkelyspitoisuus määritettiin entsymaattisesti käyttäen määrityskittiä (Total starch, amyloglukosidase/ α -amylase method; Megazyme International Ireland Ltd.). Näytteiden tärkkelys hyytelöitiin lisäämällä niihin 300 entsyymiyksikköä α -amylaasia ja näytteitä inkuboitiiin kiehuvaassa vedessä 6 minuuttia välillä sekoittaen. Tärkkelyksen hajottamiseksi näytteisiin lisättiin natriumasetaattipuskuria 4 ml ja 20 entsyymiyksikköä amyloglukosidaasia. Inkubointi $50\text{ }^{\circ}\text{C}$:ssa 30 minuutin ajan muutti hyytelöityneen tärkkelyksen glukoosiksi. Näyte laimennettiin milli-Q-vedellä 100 ml:aan ja 1 ml laimennettua näytettä sentrifugattiin $1000 \times g$ 10 minuutin ajan. Supernatantista otettiin kaksi 0,1 ml:n rinnakkaisnäytettä, ja niihin lisättiin 3 ml glukoosinmääritysreagenssia (GOPOD). Näytteiden sisältämä glukoosi määritettiin spektrofotometrillä (PharmaSpec UV-1700, Shimadzu, Japani) 510 nm:n aallonpituudella. Absorbanssin perusteella laskettiin näytteen sisältämän tärkkelyksen määrä vertaamalla sitä tunnetun glukoosistandardin absorbanssiin.

4.5.3 Havainnot hyödön aikana

Hyödön alussa laskettiin pääversion hankasilmuten lukumäärä. Puhjenneet hankasilmut laskettiin kahdesti viikossa 9.1.–30.1.2006, ja sen jälkeen kerran viikossa. Puhjenneeksi silmuksi määriteltiin sellainen silmu, josta oli näkyvissä lehti. Taimien satopotentiaali määritettiin laskemalla täysin avautuneiden kukkien määrä hankaversoittain. Laskenta aloitettiin 3.2.2006. Ensimmäisellä havaintoviikolla kukat laskettiin kahdesti viikossa, sen jälkeen viikoittain 31.3.2006 asti. Viimeisellä havaintokerralla laskettiin myös kukkanuppujen lukumäärä hankaversoittain.

Koe päätettiin Tulameen-lajikkeeseen osalta 5.–6.4.2006 ja Glen Ample -lajikkeeseen osalta 10.–11.4.2006. Kokeen lopussa mitattiin hankaversojen pituus tyvestä viimeiseen lehtihankaan asti sekä laskettiin nivelien lukumäärä versoittain. Kasvin kaikki

hankaversot laitettiin yhteen paperipussiin (1 kg paperipussi, Morsec Oy, Suomi) ja pääverso viiden sentin paloina omaan pussiin kuivapainon määrittystä varten. Hankaversoista poistettiin kukat ja marjat ennen kuivausta. Versoja kuivattiin ('Tulameen' 7–8 vrk ja 'Glen Ample' 8–9 vrk) lämpökaapissa (Memmert, Saksa) 72–74 °C lämpötilassa. Näytteet punnittiin pussien kanssa ('Tulameen' GWB Mettler PJ 3000, Sveitsi ja 'Glen Ample' Mettler Toledo PG802, Sveitsi) heti lämpökaapista ottamisen jälkeen. Näytteiden kanssa kuivattiin myös yhdeksän kappaletta tyhjiä paperipusseja, joiden keskimääräinen paino vähennettiin näytteiden painosta.

Alle 1 cm:n pituisten hankaversojen pituutta ja nivelien lukumäärää ei mitattu, mutta niiden kuivapaino määritettiin. Osaan kasveista oli kasvanut pitkiä vegetatiivisia tai generatiivisia versoja pääversion alimmista silmuista, jotka erosivat merkitsevästi kasvin muista hankaversoista. Nämä laitettiin omaan pussiin eikä niiden painoa ja pituutta ole huomioitu hankaversojen tuloksissa. Glen Ample -lajike oli kasvattanut kesällä pääversoön haaroja, joihin kasvoi hankaversot hyödössä. Myös nämä hankaversot kuivattiin ja punnittiin erikseen, mutta niiden pituutta ei mitattu eikä niitä ole huomioitu tuloksissa.

4.6 Tulosten käsittely

Koe toteutettiin täydellisesti satunnaistettuna kokeena. Selittävänä muuttujana oli proheksadioni-kalsiumkäsittely (6 kpl). Kesän mittaustuloksista laskettiin viikon aikana tapahtunut kasvu vähentämällä pituudesta aina edellisen viikon pituus. Uusien nivelvälien pituus saatiin jakamalla viikon pituuskasvu viikon aikana puhjenneiden lehtien lukumäärällä. Tulokset laskettiin 15–25 kasvin keskiarvona. Koekasvin hiilihydraattipitoisuus määritettiin 2–3 rinnakkaisnäytteen keskiarvona ja tulokset laskettiin 5 kasvin keskiarvona lajikkeesta 'Glen Ample'. Kaikkien liukoisten hiilihydraattien määrä (TOT liukoiset hiilihydraatit) saatiin laskemalla yhteen D-glukoosiin, D-fruktoosiin ja sakkaroosiin määrät.

Hyödön aikana laskettiin puhjenneiden silmujen osuus kasvin kaikista silmuista jokaiselle mittauskerralle. Kasvin satopotentiaali määritettiin kokeen lopussa laskemalla yhteen kasvin kaikki kukat ja kukkanuput. Hankaversojen nivelvälien pituus

määritettiin jakamalla version pituus nivelien lukumäärällä. Satoa tuottavien hankaversojen osuus kasvin kaikista puhjenneista silmuista laskettiin kokeen lopussa. Tulokset laskettiin 13–15 kasvin keskiarvona. Kaikista tuloksista laskettiin hajontaa kuvaavana lukuna keskiarvon keskivirhe.

Käsittelyiden vaikutus pääversion ja nivelvälien pituuteen, hiilihydraattipitoisuuksiin, puhjenneiden silmujen osuuteen, kukkien lukumäärään, hankaversojen pituuteen ja nivelvälien pituuteen sekä versojen kuivapainoon testattiin tilastollisesti yksisuuntaisella varianssianalyysillä (SPSS). Käsittelyiden parivertailut tehtiin Dunnetin testillä merkitsevyystasolla 0,05. Parivertailussa käsittelyjen tuloksia verrattiin aina vastaavaan kontrolliin (kontrolli 1 vs. ProCa 100 ja ProCa 200 sekä kontrolli 2 vs. ProCa 100 + 100 ja ProCa 200 + 200). Kummankin lajikkeen tulokset käsiteltiin erikseen.

5 TULOKSET

5.1 Pääversion kasvu ja nivelvälien pituus

Kaksinkertainen ProCa-käsittely lyhensi pääversion kokonaispituutta molemmilla lajikkeilla sekä ProCa 200 -käsittely Tulameen-lajikkeella (Taulukot 1 ja 2). Käsittelyliuoksen pitoisuudella oli selvä vaikutus versojen kokonaispituuteen. Glen Ample -lajikkeen pääversot olivat 35 % (28 cm) lyhyempiä ProCa 200 + 200 -käsittelyssä ja Tulameen-lajikkeen 14 % (15 cm) lyhyempiä kontrollikasveihin verrattuna. Ensimmäinen käsittelyn vaikutus pituuskasvuun kesti neljä viikkoa, minkä jälkeen pituuskasvu voimistui (Kuvat 5 ja 6). Uusintakäsittely neljän viikon kuluttua vähensi jälleen pituuskasvua. Tulameen-lajikkeen kasvu kiihtyi huomattavasti kahteen kertaan käsitellyillä kasveilla kahdeksan viikkoa kokeen aloittamisen jälkeen. Glen Ample -lajikkeella tällaista vaikutusta ei ollut havaittavissa.

Verson tyven paksuuskasvussa ei ollut eroja käsittelyiden välillä Tulameen-lajikkeella ja version paksuus vaihteli 2,5-3,1 mm:n välillä (Taulukko 1). Glen Ample -lajikkeella käsittely ProCa 200 + 200 vähensi tyven paksuutta 0,9 mm (19 %). Muilla käsittelyillä ei havaittu vaikutusta tyven paksuuteen, ja paksuus vaihteli 3,9:n ja 4,8 mm:n välillä (Taulukko 2).

TAULUKKO 1. Tulameen-lajikkeen pääversion pituuskasvu ja version tyven paksuuskasvu eri ProCa-käsittelyissä. Tulokset ovat 15–19 kerranteen keskiarvoja \pm keskivirhe. Parivertailut on tehty Dunnetin testillä vertaamalla käsittelyä vastaavaan kontrolliin, vaihtoehtohypoteesi on yksisuuntainen, $H_1 < \text{kontrolli}$.

ProCa (ppm)	Pääversion pituuskasvu (cm)	Verson tyven paksuuskasvu (mm)
0 (kontrolli 1)	109 \pm 1,0	2,9 \pm 0,31
100	107 \pm 2,5	3,0 \pm 0,20
200	103 \pm 1,4 *	2,9 \pm 0,20
0 + 0 (kontrolli 2)	106 \pm 2,2	3,1 \pm 0,25
100 + 100	99 \pm 1,6 *	3,0 \pm 0,15
200 + 200	91 \pm 1,9 ***	2,5 \pm 0,19
Varianssianalyysin p-arvo	< 0,001	o

o ei merkitsevää eroa; * $p \leq 0,05$; *** $p \leq 0,001$

TAULUKKO 2. Glen Ample -lajikkeen pääversion pituuskasvu ja version tyven paksuuskasvu. Tulokset ovat 21–25 kerranteen keskiarvoja \pm keskivirhe. Parivertailut on tehty Dunnetin testillä vertaamalla käsittelyä vastaavaan kontrolliin, vaihtoehtohypoteesi on yksisuuntainen, $H_1 < \text{kontrolli}$.

ProCa (ppm)	Pääversion pituuskasvu (cm)	Verson tyven paksuuskasvu (mm)
0 (kontrolli 1)	82 \pm 2,1	4,3 \pm 0,21
100	79 \pm 1,4	4,1 \pm 0,26
200	77 \pm 2,2	4,6 \pm 0,17
0 + 0 (kontrolli 2)	81 \pm 2,2	4,8 \pm 0,23
100 + 100	56 \pm 1,7 ***	4,4 \pm 0,27
200 + 200	53 \pm 1,7 ***	3,9 \pm 0,35 *
Varianssianalyysin p-arvo	< 0,001	o

o ei merkitsevää eroa; * $p \leq 0,05$; *** $p \leq 0,001$

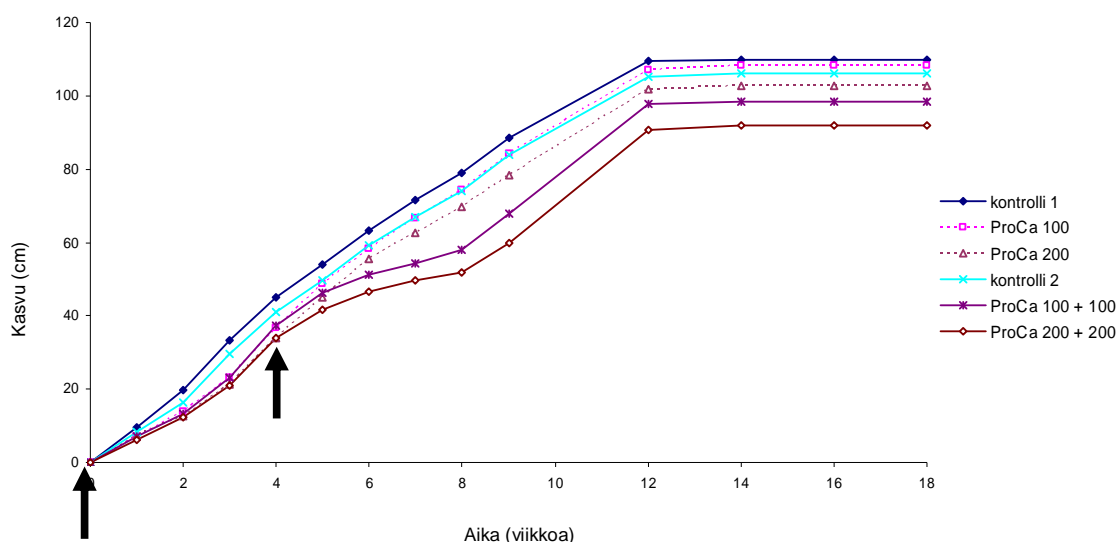
Pääversion kuivapaino oli käsittelemättömillä (kontrolli 1) kasveilla 22,8 g ('Tulameen') ja 19,2 g ('Glen Ample') (Taulukko 3). Tulameen-lajikkeella ProCa 200 + 200 -käsittely vähensi pääversion kuivapainoa 19 %. Glen Ample -lajikkeella käsittely ProCa 100 +

100 vähensi pääversion kuivapainoa 18 % ja käsittely ProCa 200 + 200 vähensi kuivapainoa 26 %.

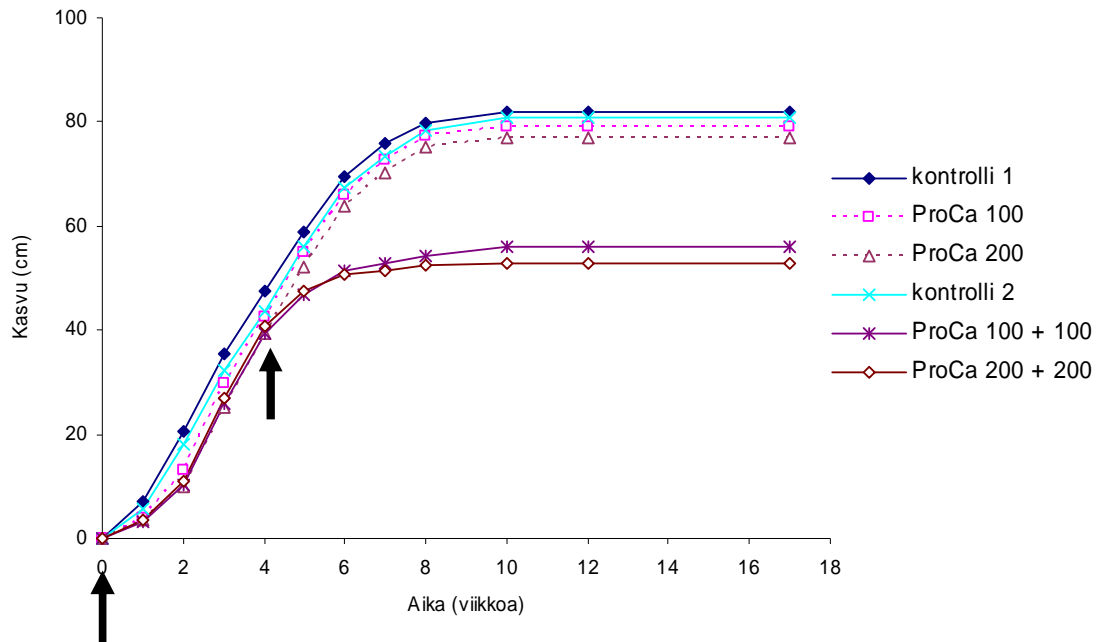
TAULUKKO 3. Lajikkeiden Tulameen ja Glen Ample pääversion kuivapaino hyödyn päättyessä 5.–6.4.2006 (Tulameen) ja 10.–11.4.2006 (Glen Ample). Tulokset ovat 13–15 kerranteen keskiarvoja \pm keskivirhe. Parivertailut on tehty Dunnetin testillä vertaamalla käsittelyä vastaavaan kontrolliin, vaihtoehtohypoteesi on kaksisuuntainen, $H_1 \neq$ kontrolli.

ProCa (ppm)	Pääversion kuivapaino (g)	
	'Tulameen'	'Glen Ample'
0 (kontrolli 1)	22,7 \pm 1,1	19,2 \pm 0,9
100	22,1 \pm 1,0	19,7 \pm 0,7
200	23,5 \pm 0,6	20,1 \pm 0,8
0 + 0 (kontrolli 2)	21,2 \pm 1,1	18,8 \pm 0,7
100 + 100	20,0 \pm 1,1	15,5 \pm 0,9 *
200 + 200	17,2 \pm 0,6 *	13,9 \pm 0,7 ***
Varianssianalyysin		
p-arvo	< 0,001	< 0,001

o ei merkitsevää eroa; * $p \leq 0,05$; *** $p \leq 0,001$



KUVA 5. Tulameen-lajikkeen pituuskasvu eri ProCa-käsittelyissä. Tulokset on laskettu 15–19 kerranteen keskiarvona. Mustat nuolet osoittavat käsittelyajankohdan. Taimen alkupituus ennen ensimmäistä käsittelyä on vähennetty pituusmittauksista.



KUVA 6. Glen Ample -lajikkeen pituuskasvu eri ProCa-käsittelyissä. Tulokset on laskettu 21-25 kerranteen keskiarvona. Mustat nuolet osoittavat käsittelyajankohdan. Taimen alkupituus ennen ensimmäistä käsittelyä on vähennetty pituusmittauksista.

Tulameen-lajikkeeseen kehittyi kokonaisuudessaan 44–47 niveltä / kasvi (Taulukko 4). Käsittelyillä ei ollut vaikutusta nivelien lukumäärään. Glen Ample -lajikkeeseen kehittyi keskimäärin 31–34 niveltä / kasvi (Taulukko 5). Kahdesti käsitellyillä kasveilla niveliä kehittyi keskimäärin kaksi vähemmän kuin kontrollikasveilla.

TAULUKKO 4. Tulameen-lajikkeen nivelien kokonaismäärä ja nivelvälien keskipituus eri ProCa-käsittelyissä. Tulokset ovat 15–19 kerranteen keskiarvoja \pm keskivirhe. Parivertailut on tehty Dunnetin testillä vertaamalla käsittelyä vastaavaan kontrolliin, vaihtoehtohypoteesi on yksisuuntainen, $H_1 < \text{kontrolli}$.

ProCa (ppm)	Nivelien kokonaismäärä (kpl)	Nivelvälien keskipituus (cm)	
0 (kontrolli 1)	46 \pm 0,9	3,0 \pm 0,03	
100	47 \pm 1,0	2,8 \pm 0,04	***
200	47 \pm 0,8	2,8 \pm 0,03	***
0 + 0 (kontrolli 2)	46 \pm 0,9	2,9 \pm 0,04	
100 + 100	46 \pm 0,9	2,7 \pm 0,03	***
200 + 200	44 \pm 0,6	2,6 \pm 0,04	***
Varianssianalyysin			
p-arvo	o	< 0,001	

o ei merkitsevää eroa; * $p \leq 0,05$; *** $p \leq 0,001$

TAULUKKO 5. Glen Ample -lajikkeen nivelien kokonaismäärä ja nivelvälien keskipituus. Tulokset ovat 21–25 kerranteen keskiarvoja \pm keskivirhe. Parivertailut on tehty Dunnetin testillä vertaamalla käsittelyä vastaavaan kontrolliin, vaihtoehtohypoteesi on yksisuuntainen, $H_1 < \text{kontrolli}$.

ProCa (ppm)	Nivelien kokonaismäärä (kpl)	Nivelvälien keskipituus (cm)	
0 (kontrolli 1)	34 \pm 0,6	3,0 \pm 0,04	
100	34 \pm 0,6	2,9 \pm 0,03	
200	34 \pm 0,7	2,8 \pm 0,06	*
0 + 0 (kontrolli 2)	33 \pm 0,4	3,0 \pm 0,05	
100 + 100	31 \pm 0,8 *	2,4 \pm 0,04	***
200 + 200	31 \pm 0,4 *	2,3 \pm 0,04	***
Varianssianalyysin			
p-arvo	< 0,001	< 0,001	

o ei merkitsevää eroa; * $p \leq 0,05$; *** $p \leq 0,001$

Tulameen-lajikkeella ProCa 100 -käsittely vähensi uusien nivelvälien pituutta 0,8–1,2 cm (21–23 %) ja ProCa 200 -käsittely 0,8–1,7 cm (26–40 %) 1-3 viikon kuluttua käsittelystä (Taulukko 6). Uusintakäsittelyt vähensivät uusien nivelvälien pituutta 1,0–2,8 cm (29–74 %) 2–4 viikon kuluttua käsittelystä. ProCa:n vaikutuksen hävittyä kahdeksan viikon kuluttua uusintakäsittelystä, kasvit kasvattivat vastaavasti 0,9–1,3 cm (32–46 %) pitempiä nivelvälviä kuin kontrollikasvit. Tulameen-lajikkeella nivelvälien

keskipituus jäi käsitellyillä kasveilla 0,2–0,3 cm (7–10 %) lyhyemmiksi kuin kontrollikasveilla (Taulukko 4).

Glen Ample -lajikkeella käsittely ProCa 100 vähensi uusien nivelvälien pituuksia 1,0–1,9 cm (42–43 %) ja käsittely ProCa 200 0,8–2,2 cm (33–50 %) 1–2 viikon kuluttua käsittelystä (Taulukko 7). Kaksinkertaiset käsittelyt vähensivät uusien nivelvälien pituutta 1,4–2,7 cm (35–82 %) 1–4 viikon kuluttua uusintakäsittelystä. Glen Ample -lajikkeella kasvu ei kuitenkaan kiihtynyt käsittelyn vaikutuksen loputtua. Glen Ample -lajikkeella käsittely ProCa 200 lyhensi nivelvälien keskipituutta 0,2 cm (7 %) ja ProCa 100 + 100 - sekä ProCa 200 + 200 -käsittelyt lyhensivät nivelvälien keskipituutta 0,6–0,7 cm (20–23 %) (Taulukko 5).

TAULUKKO 6. Tulameen-lajikkeen uusien nivelvälien pituus (cm) ProCa-käsittelyn jälkeen 1–3 viikon välein mitattuna. Tulokset on ilmoitettu 15–19 kerranteen keskiarvona \pm keskivirhe. Parivertailut on tehty Dunnetin testillä vertaamalla käsittelyä vastaavaan kontrolliin, vaihtoehtohypoteesi on kaksisuuntainen, $H_1 \neq$ kontrolli.

Päivä	Viikkoja ensimmäisestä käsittelystä	ProCa (ppm)						Varianssianalyysin p-arvo	
		0 (kontrolli 1)	100	200	0 + 0 (kontrolli 2)	100 + 100	200 + 200		
21.6.	0	2,8 \pm 0,1	2,5 \pm 0,1	2,9 \pm 0,1	2,7 \pm 0,1	2,6 \pm 0,1	2,7 \pm 0,1		o
28.6.	1	5,2 \pm 0,4	4,0 \pm 0,2 *	3,6 \pm 0,2 ***	3,9 \pm 0,3	3,4 \pm 0,2	3,8 \pm 0,4		<0,001
5.7.	2	4,3 \pm 0,4	3,1 \pm 0,4	2,6 \pm 0,2 *	4,3 \pm 0,5	3,3 \pm 0,4	2,9 \pm 0,2 *		0,001
12.7.	3	3,4 \pm 0,2	2,6 \pm 0,2 *	2,4 \pm 0,2 ***	3,4 \pm 0,1	2,8 \pm 0,2	2,4 \pm 0,2 ***		<0,001
19.7.	4	3,2 \pm 0,1	3,3 \pm 0,2	3,0 \pm 0,2	3,1 \pm 0,1	3,6 \pm 0,2	3,2 \pm 0,2		o
26.7.	5	2,9 \pm 0,1	4,3 \pm 0,4 ***	3,7 \pm 0,2 *	3,5 \pm 0,2	3,0 \pm 0,2	3,1 \pm 0,2		<0,001
2.8.	6	3,1 \pm 0,1	2,8 \pm 0,2	3,3 \pm 0,1	3,4 \pm 0,2	1,9 \pm 0,1 ***	1,8 \pm 0,1 ***		<0,001
9.8.	7	3,1 \pm 0,2	2,8 \pm 0,2	2,3 \pm 0,1 *	2,7 \pm 0,2	1,3 \pm 0,2 ***	1,3 \pm 0,2 ***		<0,001
16.8.	8	3,6 \pm 0,2	2,8 \pm 0,2	3,2 \pm 0,2	3,8 \pm 0,5	1,6 \pm 0,2 ***	1,0 \pm 0,1 ***		<0,001
23.8.	9	3,5 \pm 0,2	4,2 \pm 0,3	3,6 \pm 0,4	4,0 \pm 0,3	4,2 \pm 0,3	3,2 \pm 0,3		o
13.9.	12	2,9 \pm 0,1	2,9 \pm 0,1	3,0 \pm 0,1	2,8 \pm 0,1	3,7 \pm 0,1 ***	4,1 \pm 0,1 ***		<0,001
27.9.	14	0,1 \pm 0,1	0,4 \pm 0,2	0,4 \pm 0,1	0,5 \pm 0,3	0,4 \pm 0,1	0,5 \pm 0,3		o

o ei merkitsevää eroa; * $p \leq 0,05$; *** $p \leq 0,001$

TAULUKKO 7. Glen Ample -lajikkeen uusien nivelvälien pituus (cm) ProCa-käsittelyiden jälkeen 1–2 viikon välein mitattuna. Tulokset on ilmoitettu 21–25 kerranteen keskiarvona \pm keskivirhe. Parivertailut on tehty Dunnetin testillä vertaamalla käsittelyä vastaavaan kontrolliin, vaihtoehtohypoteesi on kaksisuuntainen, $H_1 \neq$ kontrolli.

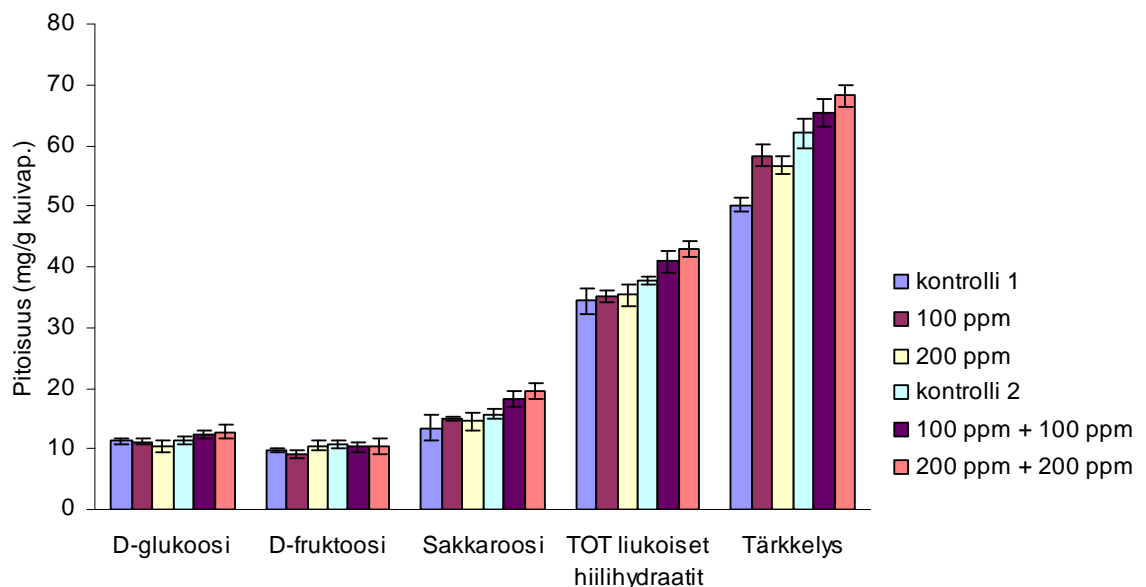
		ProCa (ppm)						Varianssianalyysin p-arvo	
		0 (kontrolli 1)	100	200	0 + 0 (kontrolli 2)	100 + 100	200 + 200		
Päivä	Viikkoja ensimmäisestä käsittelystä								
28.6.	0	1,8 \pm 0,1	2,0 \pm 0,1	2,8 \pm 1,0	1,8 \pm 0,0	1,7 \pm 0,1	1,9 \pm 0,1	o	
5.7.	1	2,9 \pm 0,2	1,7 \pm 0,2 ***	1,6 \pm 0,2 ***	2,4 \pm 0,2	1,4 \pm 0,1 ***	1,6 \pm 0,2 *	<0,001	
12.7.	2	4,4 \pm 0,2	3,2 \pm 0,2 ***	2,2 \pm 0,2 ***	4,4 \pm 0,2	2,5 \pm 0,2 ***	2,8 \pm 0,2 ***	<0,001	
19.7.	3	4,7 \pm 0,2	4,9 \pm 0,2	5,3 \pm 0,2	4,3 \pm 0,1	4,9 \pm 0,2	5,4 \pm 0,3 ***	0,001	
26.7.	4	3,7 \pm 0,2	3,5 \pm 0,1	3,7 \pm 0,2	3,9 \pm 0,2	3,8 \pm 0,2	3,9 \pm 0,1	o	
2.8.	5	3,9 \pm 0,2	3,5 \pm 0,1	3,6 \pm 0,1	4,0 \pm 0,1	2,6 \pm 0,2 ***	2,1 \pm 0,1 ***	<0,001	
9.8.	6	4,3 \pm 0,1	4,3 \pm 0,2	4,8 \pm 0,4	4,5 \pm 0,3	2,5 \pm 0,2 ***	1,9 \pm 0,2 ***	<0,001	
16.8.	7	3,6 \pm 0,3	3,7 \pm 0,2	3,1 \pm 0,3	3,3 \pm 0,6	1,2 \pm 0,2 ***	0,6 \pm 0,0 ***	<0,001	
23.8.	8	2,2 \pm 0,3	2,4 \pm 0,3	2,7 \pm 0,4	2,6 \pm 0,2	1,2 \pm 0,2 ***	0,9 \pm 0,2 ***	<0,001	
6.9.	10	1,1 \pm 0,3	0,9 \pm 0,2	0,9 \pm 0,2	1,2 \pm 0,2	0,6 \pm 0,2	0,2 \pm 0,1 *	0,009	
20.9.	12	0,1 \pm 0,1	0,0 \pm 0,0	0,1 \pm 0,0	0,1 \pm 0,1	0,0 \pm 0,0	0,0 \pm 0,0	o	

o ei merkitsevää eroa; * $p \leq 0,05$; *** $p \leq 0,001$

5.2 Verson ja silmujen hiilihydraattipitoisuus

Käsitlemättömissä (kontrolli 1) kasveissa versoissa oli D-glukoosia 11,2 mg / g kuivap., D-fruktoosia 9,7 mg / g kuivap. ja sakkaroosia 13,4 mg / g kuivap. (Kuva 7). Yhteenlaskettu liukoisten hiilihydraattien pitoisuus oli 34,4 mg / g kuivap. Liukoisten hiilihydraattien kokonaispitoisuuksissa oli eroa eri käsittelyiden välillä ($p = 0,003$), mutta käsittelyiden ja vastaavien kontrollien välillä ei ollut tilastollisesti merkitseviä eroja. Sakkaroosipitoisuus kohosi ProCa 200 + 200 -käsittelyssä 19,6 mg / g kuivap. (25 %) kontrolliin verrattuna, mutta ero ei ollut tilastollisesti merkitsevä.

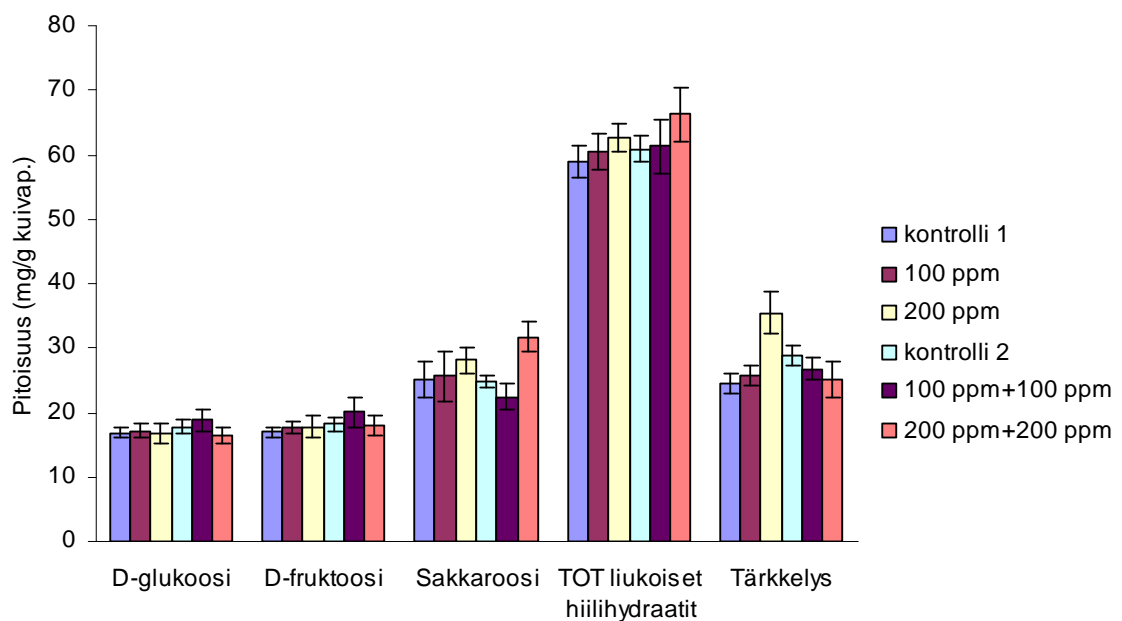
Versojen tärkkelyspitoisuus oli käsitlemättömillä (kontrolli 1) kasveilla 50,2 mg / g kuivap. (Kuva 7). Tärkkelyspitoisuuksissa oli merkitsevä ero eri käsittelyiden välillä ($p \leq 0,001$). Käsittely ProCa 100 nosti versojen tärkkelyspitoisuutta 8,2 mg / g kuivap. (16 %) ($p \leq 0,05$). Muiden käsittelyiden vaikutukset eivät olleet tilastollisesti merkitseviä, vaikka kahdesti käsitellyillä kasveilla (ProCa 100 + 100 ja ProCa 200 + 200) tärkkelyspitoisuus oli 6–10 % korkeampi kuin vastaavilla kontrollikasveilla.



KUVA 7. Versojen D-glukoosin, D-fruktoosin, sakkaroosin, kaikkien liukoisten hiilihydraattien ja tärkkelyksen pitoisuudet Glen Ample -lajikkeella eri ProCa-käsittelyissä 25.10.2005. Tulokset on ilmoitettu viiden kerranteen keskiarvoina \pm keskiarvon keskivirhe.

Käsitlemättömien (kontrolli 1) kasvien silmuissa oli D-glukoosia 16,8 mg / g kuivap., D-fruktoosia 16,9 mg / g kuivap. ja sakkaroosia 25,2 mg / g kuivap. (Kuva 8). Yhteenlaskettu liukoisten hiilihydraattien pitoisuus oli 58,9 mg / g kuivap.. Käsittelyt eivät vaikuttaneet silmujen liukoisten hiilihydraattien pitoisuuksiin. Sakkaroosipitoisuus oli 2,9 mg / g kuivap. (11 %) korkeampi ProCa 200 -käsittelyssä ja 6,9 mg / g kuivap. (28 %) korkeampi ProCa 200 + 200 -käsittelyssä kontrolleihin verrattuna, mutta erot eivät olleet tilastollisesti merkitseviä.

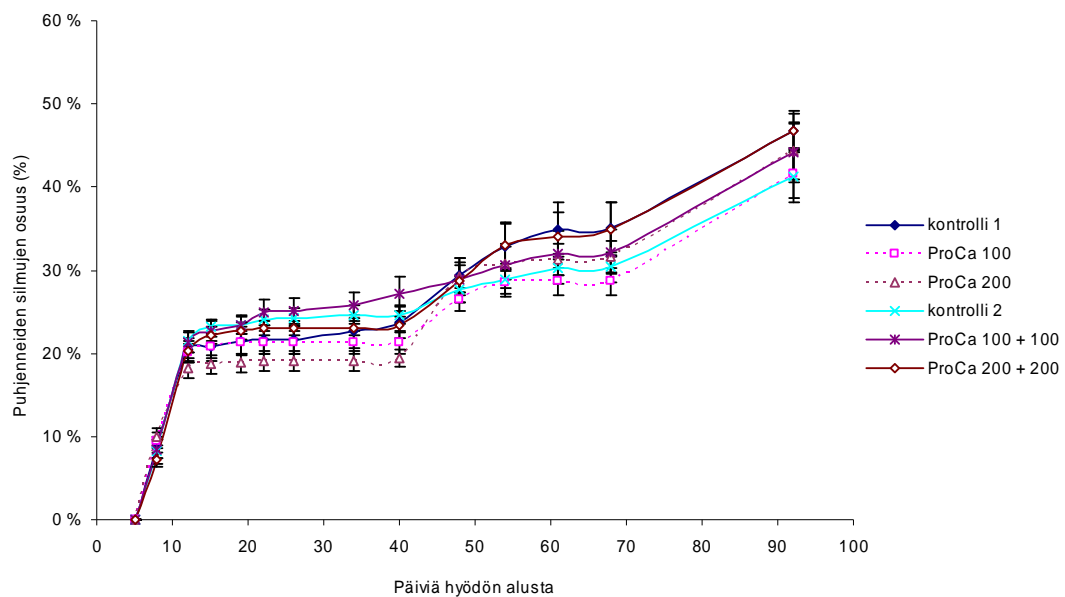
Silmujen tärkkelyspitoisuus oli käsitlemättömillä (kontrolli 1) kasveilla 24,5 mg / g kuivap. (Kuva 8). Tärkkelyspitoisuuksissa oli eroa käsittelyiden välillä ($p = 0,016$). Käsittely ProCa 200 lisäsi tärkkelyspitoisuutta 10,9 mg / g kuivap. (45 %) kontrolliin verrattuna ($p \leq 0,05$). Muilla käsittelyillä ei ollut vaikutusta tärkkelyspitoisuuteen.



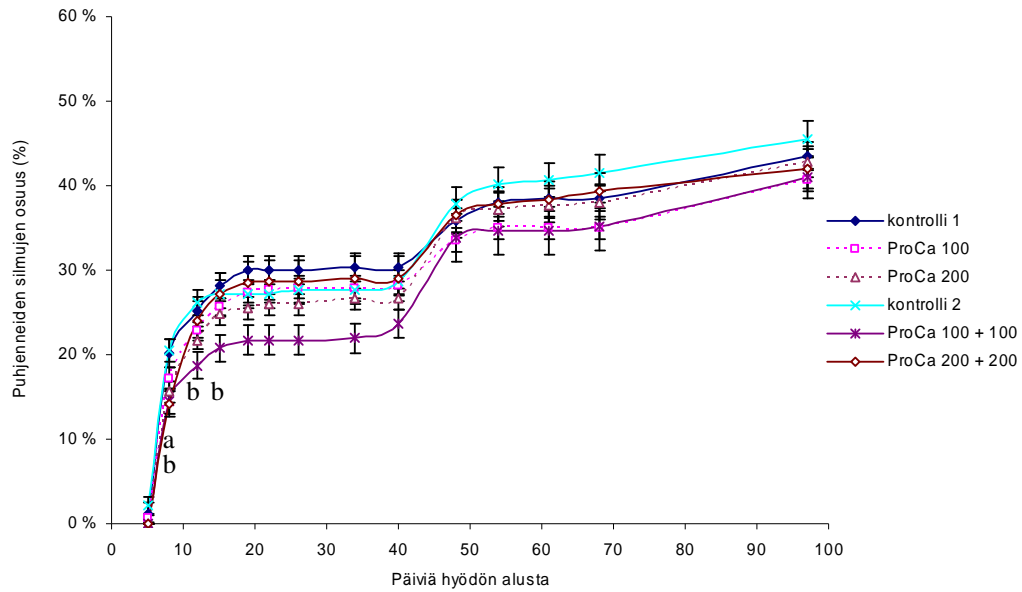
KUVA 8. Silmujen D-glukoosin, D-fruktoosin, sakkaroosin, kaikkien liukoisten hiilihydraattien ja tärkkelyksen pitoisuudet Glen Ample -lajikkeella eri ProCa-käsittelyissä 25.10.2005. Tulokset on ilmoitettu viiden kerranteen keskiarvoina \pm keskiarvon keskivirhe.

5.3 Silmujen puhkeaminen

Tulameen-lajikkeen puhjenneiden silmujen osuuteen käsittelyillä ei ollut vaikutusta, kun taas Glen Ample -lajikkeella oli havaittavissa eroja käsittelyiden välillä hyödyn aikana ($p \leq 0,05$) (Kuvat 9 ja 10). Hyödyn lopussa käsittelyillä ei ollut vaikutusta puhjenneiden silmujen osuuteen kummallakaan lajikkeella (Taulukot 8 ja 9). Hyödyn lopussa puhjenneiden silmujen määrä oli Tulameen-lajikkeella keskimäärin 15,5–18,7 eikä käsittelyiden välillä ollut eroa. Glen Ample -lajikkeella käsittelyt ProCa 100 + 100 ja ProCa 200 + 200 vähensivät puhjenneiden silmujen osuutta 8-15 päivän kuluttua hyödyn aloittamisesta 24–29 % ($p \leq 0,05$), mutta käsittelyiden väliset erot tasoittuivat hyödyn loppua kohden. Hyödyn lopussa ainoastaan ProCa 100 + 100 -käsittely vähensi puhjenneiden silmujen määrän keskimäärin 9,5 silmuun (24 % vähemmän kuin vastaavassa kontrollissa). Muissa käsittelyissä puhjenneiden silmujen määrä oli 10,3–12,5.



KUVA 9. Silmujen puhkeaminen hyödyn aikana Tulameen-lajikkeella eri ProCa-käsittelyissä. Tulokset ovat 13–14 kerranteen keskiarvoja \pm keskiarvon keskivirhe. Käsittelyiden välillä ei ollut merkitseviä eroja.



KUVA 10. Silmujen puhkeaminen hyödyn aikana Glen Ample -lajikkeella eri ProCa-käsittelyissä. Tulokset ovat 14–15 kerranteen keskiarvoja \pm keskiarvon keskivirhe. Kirjain a tarkoittaa, että käsittelyn ProCa 200 + 200 arvo, ja kirjain b, että käsittelyn ProCa 100 + 100 arvo poikkeaa kontrolli 2:n arvosta Dunnetin kaksisuuntaisella testillä merkitsevyystasolla 0,05.

Satoa tuottavien silmujen osuus puhjenneista silmuista ja satoa tuottavien silmujen kokonaismäärä ei muuttunut käsittelyiden seurauksena Tulameen-lajikkeella (Taulukko 8). Glen Ample -lajikkeella ProCa 100 + 100 -käsittely vähensi satoa tuottavien silmujen osuutta 16 % ja satosilmujen kokonaismäärää 35 % kontrolliin verrattuna (Taulukko 9). ProCa 200 + 200 -käsittely vähensi satoa tuottavien silmujen osuutta 21 % ja satosilmujen kokonaismäärää 34 % kontrolliin verrattuna.

TAULUKKO 8. Tulameen-lajikkeen puhjenneiden silmujen kokonaismäärä ja osuus kaikista silmuista sekä satoa tuottavien silmujen kokonaismäärä ja osuus puhjenneista silmuista (%) hyödyn päättyessä 5.–6.4.2006. Tulokset ovat 13–14 kerranteen keskiarvoja \pm keskivirhe. Parivertailut on tehty Dunnetin testillä vertaamalla käsittelyä vastaavaan kontrolliin, vaihtoehtohypoteesi on kaksisuuntainen, $H_1 \neq$ kontrolli.

ProCa (ppm)	Puhjenneiden silmujen kokonaismäärä (kpl)	Puhjenneiden silmujen osuus (%)	Satoa tuottavien silmujen kokonaismäärä (kpl)	Satoa tuottavien silmujen osuus puhjenneista (%)
0 (kontrolli 1)	18,4 \pm 1,1	47 \pm 2,5	11,7 \pm 0,5	66 \pm 4,1
100	16,9 \pm 1,2	42 \pm 3,0	11,9 \pm 0,5	75 \pm 5,2
200	18,7 \pm 1,4	44 \pm 3,4	11,9 \pm 0,5	68 \pm 5,6
0 + 0 (kontrolli 2)	15,5 \pm 1,2	41 \pm 3,1	10,6 \pm 0,5	72 \pm 4,4
100 + 100	17,5 \pm 1,7	44 \pm 3,5	10,4 \pm 0,7	62 \pm 3,6
200 + 200	17,5 \pm 0,9	47 \pm 2,1	10,2 \pm 0,7	59 \pm 2,8
Varianssianalyysin p-arvo	o	o	o	o

o ei merkitsevää eroa; * $p \leq 0,05$; *** $p \leq 0,001$

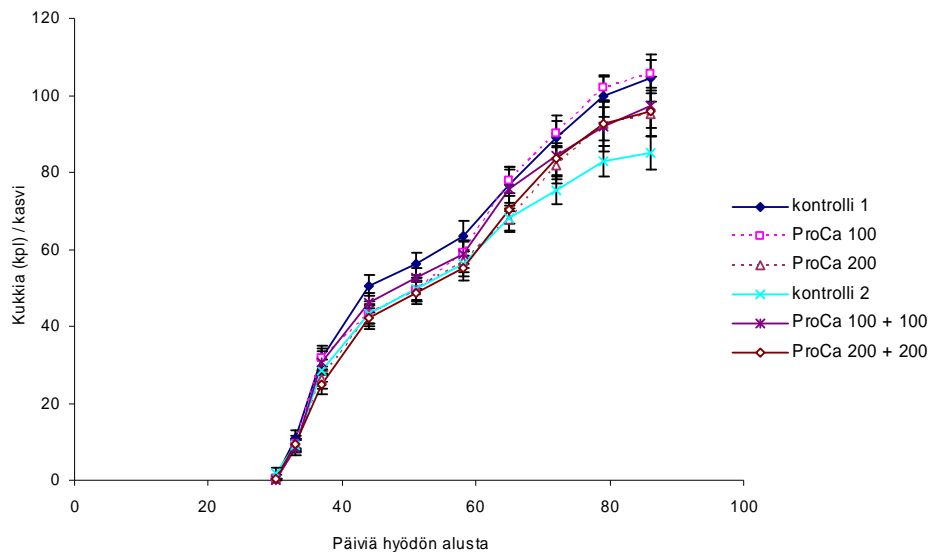
TAULUKKO 9. Glen Ample -lajikkeen puhjenneiden silmujen kokonaismäärä ja osuus kaikista silmuista sekä satoa tuottavien silmujen kokonaismäärä ja osuus puhjenneista silmuista (%) hyödyn päättyessä 10.–11.4.2006. Tulokset ovat 14–15 kerranteen keskiarvoja \pm keskivirhe. Parivertailut on tehty Dunnetin testillä vertaamalla käsittelyä vastaavaan kontrolliin, vaihtoehtohypoteesi on kaksisuuntainen, $H_1 \neq$ kontrolli.

ProCa (ppm)	Puhjenneiden silmujen kokonaismäärä (kpl)	Puhjenneiden silmujen osuus (%)	Satoa tuottavien silmujen kokonaismäärä (kpl)	Satoa tuottavat silmujen osuus puhjenneista (%)
0 (kontrolli 1)	12,0 \pm 0,5	44 \pm 1,6	10,1 \pm 0,5	85 \pm 2,5
100	11,5 \pm 0,9	41 \pm 1,3	10,8 \pm 0,4	90 \pm 3,1
200	12,5 \pm 0,5	43 \pm 1,8	11,0 \pm 0,7	87 \pm 3,1
0 + 0 (kontrolli 2)	12,5 \pm 0,6	46 \pm 2,1	11,5 \pm 0,6	92 \pm 1,2
100 + 100	9,5 \pm 0,7 *	41 \pm 2,4	7,5 \pm 0,4 ***	77 \pm 4,9 *
200 + 200	10,3 \pm 0,4	42 \pm 2,3	7,6 \pm 0,5 ***	73 \pm 2,7 ***
Varianssianalyysin p-arvo	0,004	o	< 0,001	< 0,001

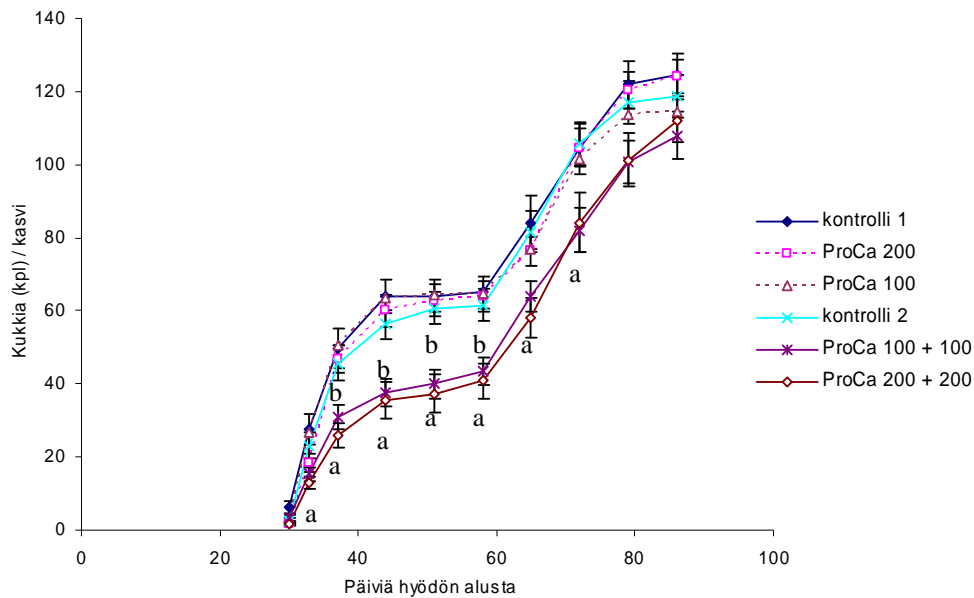
o ei merkitsevää eroa; * $p \leq 0,05$; *** $p \leq 0,001$

5.4 Kukinta

Molempien lajikkeiden kukinta alkoi 30 vuorokauden kuluttua hyödon alusta. Hyödon päättyessä kukkien kokonaismäärässä ei ollut eroa eri käsittelyiden välillä kummallakaan lajikkeella. Glen Ample -lajikkeella ProCa 100 + 100 - ja ProCa 200 + 200 -käsittelyt vähensivät kukkien määrää 33–65 päivää hyödon alusta 29–44 % vastaavaan kontrolliin verrattuna (Kuva 12). Erot kuitenkin tasoittuivat hyödon loppuun mennessä. Eri käsittelyissä oli kukkia Tulameen-lajikkeella 85–105/kasvi ja Glen Ample -lajikkeella 108–124/kasvi (Taulukko 10). Hyödon päättyessä laskettujen kukkanuppujen ja kukkien yhteenlasketussa kokonaismäärässä (satopotentiaali) ei myöskään ollut eroa eri käsittelyiden välillä kummallakaan lajikkeella. Glen Ample -lajikkeella kukinnassa oli kaksi huippua (Kuva 12), Tulameen-lajikkeella kukinnan huiput eivät erottuneet yhtä selkeästi (Kuva 11).



KUVA 11. Kukkien lukumäärä kasvissa hyödon aikana Tulameen-lajikkeella eri ProCa-käsittelyissä. Tulokset ovat 13–15 kerranteen keskiarvoja \pm keskivirhe. Käsittelyiden välillä ei ollut merkitseviä eroja.



KUVA 12. Kukkien lukumäärä kasvissa hyödyn aikana Glen Ample -lajikkeella eri ProCa-käsittelyissä. Tulokset ovat 15 kerranteen keskiarvoja \pm keskivirhe. Kirjain a tarkoittaa, että käsittelyn ProCa 200 + 200 arvo, kirjain b, että käsittelyn ProCa 100 + 100 arvo poikkeaa kontrolli 2:n arvosta Dunnetin kaksisuuntaisella testillä merkitsevyystasolla 0,05.

TAULUKKO 10. Lajikkeiden Tulameen ja Glen Ample kukkien kokonaismäärä ja satopotentiaali (kukkien ja nuppujen kokonaismäärä) kasvissa viimeisellä havaintokerralla 31.3. eri ProCa-käsittelyissä. Tulokset ovat 13–14 ('Tulameen') ja 15 ('Glen Ample') kerranteen keskiarvoja \pm keskivirhe. Parivertailut on tehty Dunnetin testillä vertaamalla käsittelyä vastaavaan kontrolliin, vaihtoehdohypoteesi on kaksisuuntainen, $H_1 \neq$ kontrolli.

ProCa (ppm)	Kukkien kokonaismäärä (kpl/kasvi)		Satopotentiaali (kpl/kasvi)	
	'Tulameen'	'Glen Ample'	'Tulameen'	'Glen Ample'
0 (kontrolli 1)	105 \pm 6,1	124 \pm 5,8	113 \pm 7,9	130 \pm 5,9
100	105 \pm 3,6	114 \pm 4,7	108 \pm 3,6	118 \pm 5,4
200	95 \pm 5,8	124 \pm 4,6	101 \pm 5,2	134 \pm 4,8
0 + 0 (kontrolli 2)	85 \pm 4,3	119 \pm 5,9	92 \pm 5,1	122 \pm 6,1
100 + 100	97 \pm 7,7	108 \pm 6,5	103 \pm 9,2	112 \pm 7,0
200 + 200	96 \pm 4,4	112 \pm 6,0	102 \pm 5,1	126 \pm 5,9
Varianssianalyysin				
p-arvo	o	o	o	o

o ei merkitsevää eroa; * $p \leq 0,05$; *** $p \leq 0,001$

5.5 Hankaversojen kasvu

Tulameen-lajikkeella ainoastaan käsittely ProCa 100 vähensi hankaversojen määrää kasvissa 15 % (Taulukko 11). Glen Ample -lajikkeella hankaversojen kokonaismäärä väheni käsittelyillä ProCa 100 + 100 32 % ja ProCa 200 + 200 27 % (Taulukko 12). Tulameen-lajikkeella käsittelyillä ei ollut vaikutusta hankaversojen pituuteen. Glen Ample -lajikkeella hankaversot pitenevät käsittelyillä ProCa 100 + 100 29 % ja ProCa 200 + 200 43 % vastaavaan kontrolliin verrattuna. Käsittelyillä ei ollut vaikutusta hankaversojen keskimääräiseen nivelvälin pituuteen kummallakaan lajikkeella. Hankaversojen kuivapaino koko kasvissa oli käsittelemättömillä (kontrolli 1) kasveilla 25,6 g ('Tulameen') ja 15,5 g ('Glen Ample'). ProCa-käsittelyillä ei ollut vaikutusta hankaversojen kuivapainoihin (Taulukko 13).

TAULUKKO 11. Tulameen-lajikkeen hankaversojen kokonaismäärä, pituus ja nivelvälien keskipituus eri ProCa-käsittelyissä hyödyn päättyessä 5.–6.4.2006. Tulokset ovat 13–14 kerranteen keskiarvoja \pm keskivirhe. Parivertailut tehty Dunnetin testillä vertaamalla käsittelyä vastaavaan kontrolliin, vaihtoehtohypoteesi on kaksisuuntainen, $H_1 \neq$ kontrolli.

ProCa (ppm)	Hankaversojen kokonaismäärä (kpl/kasvi)	Hankaversojen pituus (cm)	Hankaversojen nivelvälien pituus (cm)
0 (kontrolli 1)	13,1 \pm 0,63	18,9 \pm 0,90	2,3 \pm 0,08
100	11,1 \pm 0,50 *	18,8 \pm 0,88	2,4 \pm 0,11
200	12,4 \pm 0,37	19,4 \pm 0,76	2,3 \pm 0,07
0 + 0 (kontrolli 2)	11,2 \pm 0,46	19,2 \pm 0,79	2,3 \pm 0,06
100 + 100	11,2 \pm 0,76	19,9 \pm 0,98	2,4 \pm 0,09
200 + 200	10,7 \pm 0,55	19,0 \pm 0,76	2,3 \pm 0,09
Varianssianalyysin p-arvo	0,019	o	o

o ei merkitsevää eroa; * $p \leq 0,05$; *** $p \leq 0,001$

TAULUKKO 12. Glen Ample -lajikkeen hankaversojen kokonaismäärä, pituus ja nivelvälien keskipituus eri ProCa-käsittelyissä hyödon päättyessä 10.–11.4.2006. Tulokset ovat 14–15 kerranteen keskiarvoja \pm keskivirhe. Parivertailut tehty Dunnetin testillä vertaamalla käsittelyä vastaavaan kontrolliin, vaihtoehtohypoteesi on kaksisuuntainen, $H_1 \neq$ kontrolli.

ProCa (ppm)	Hankaversojen kokonaismäärä (kpl/kasvi)		Hankaversojen pituus (cm)	Hankaversojen nivelvälien pituus (cm)
0 (kontrolli 1)	10,5 \pm 0,7		20,0 \pm 1,4	2,6 \pm 0,1
100	11,4 \pm 0,4		21,8 \pm 0,7	2,8 \pm 0,1
200	11,4 \pm 0,7		20,6 \pm 0,7	2,7 \pm 0,1
0 + 0 (kontrolli 2)	11,7 \pm 0,5		19,0 \pm 1,0	2,7 \pm 0,1
100 + 100	7,9 \pm 0,3	***	24,5 \pm 2,0 *	2,9 \pm 0,2
200 + 200	8,5 \pm 0,6	***	27,2 \pm 1,7 ***	3,0 \pm 0,1
Varianssianalyysin				
p-arvo	< 0,001		< 0,001	o

o ei merkitsevää eroa; * $p \leq 0,05$; *** $p \leq 0,001$

TAULUKKO 13. Lajikkeiden Tulameen ja Glen Ample hankaversojen kokonaiskuivapaino kasvissa hyödon päättyessä 5.–6.4.2006 (Tulameen) 10.–11.4.2006 (Glen Ample). Tulokset ovat 13–15 kerranteen keskiarvoja \pm keskivirhe. Parivertailut on tehty Dunnetin testillä vertaamalla käsittelyä vastaavaan kontrolliin, vaihtoehtohypoteesi on kaksisuuntainen, $H_1 \neq$ kontrolli.

ProCa (ppm)	Hankaversojen kuivapaino (g)	
	'Tulameen'	'Glen Ample'
0 (kontrolli 1)	25,6 \pm 1,5	15,5 \pm 1,4
100	23,7 \pm 0,7	17,5 \pm 0,6
200	25,9 \pm 1,0	17,1 \pm 1,2
0 + 0 (kontrolli 2)	23,7 \pm 1,3	15,7 \pm 1,1
100 + 100	24,9 \pm 1,7	17,0 \pm 1,8
200 + 200	23,8 \pm 0,9	19,3 \pm 1,1
Varianssianalyysin		
p-arvo	o	o

o ei merkitsevää eroa; * $p \leq 0,05$; *** $p \leq 0,001$

5.6 Muut havainnot

Hyödyn aikana kasvien kasvussa havaittiin epänormaaleja piirteitä. Eräässä 'Tulameen'-taimessa kehittyi kaksi kukkaa päällekkäin (Kuva 13). Monissa kukissa oli myös normaalia pidemmät verholehdet, mutta niiden esiintymisessä ei ollut eroja käsittelyiden välillä.



KUVA 13. Kaksi kukkaa on kehittynyt päällekkäin Tulameen-lajikkeella.

6 TULOSTEN TARKASTELU

6.1 Pääversojen vegetatiivinen kasvu

ProCa-käsittely vähensi vadelman ensimmäisen vuoden versojen vegetatiivista kasvua. Glen Ample -lajikkeen vaste käsittelyyn oli voimakkaampi kuin Tulameen-lajikkeen, jonka versojen kokonaispituus jäi kahdesti käsitellyillä kasveillakin vain 7–14 % lyhyemmäksi kuin kontrollikasveilla. Glen Ample -lajikkeen pääversot lyhenivät vastaavilla käsittelyillä 31–35 %. Kokeessani molempien lajikkeiden pääversion lyhentymisen vähensi myös niiden kuivapainoa. Glen Ample -lajikkeen kasvu ei kiihtynyt käsittelyn vaikutuksen loputtua, koska kasvu päättyi. Sen vuoksi ProCa-käsittelyn vaikutus tähän lajikkeeseen oli voimakkaampi. Käytännössä Tulameen-lajikkeen pituus väheni 7–15 cm ja Glen Ample -lajikkeen 25–28 cm. Lähes 30 cm lyhyemmällä satoversolla voi olla jo käytännön viljelyssä merkitystä, koska tukeminen helpottuu ja talvivaurioiden riski voi vähentyä. Syysvadelmalla pääverso on lyhentynyt

ProCa 100 + 100 ja ProCa 200 + 200 -käsittelyillä 32–45 %, mikä johtui nivelvälien lyhentymisestä (Palonen ja Mouhu 2006).

Omenan versojen pituus on vähentynyt vastaavilla ProCa-käsittelyillä 40–43 % ja nivelvälien pituus 38–48 % käsittelemättömään kontrolliin verrattuna Espanjassa tehdyissä tutkimuksissa (Medjdoub ym. 2005). Päärynällä kaksinkertainen käsittely ProCa:lla (125 ppm) vähensi version pituutta 38–43 % Etelä-Afrikassa tehdyssä tutkimuksessa (Smit ym. 2005). Omenalla ja päärynällä saadut tulokset eivät ole aivan suoraan vertailukelpoisia omien tulosteni kanssa, koska tutkimukset on tehty erilaisessa ilmastossa kuin Suomessa. Kokeessani yhden käsittelyn (ProCa 100 ja ProCa 200) vaikutus pituuskasvuun oli vähäistä. Voimakkain vaste pituuskasvuun oli kahdesti ProCa-käsittelyillä Glen Ample -lajikkeen kasveilla.

Pituuskasvun vähentyminen johtui nivelvälien lyhentymisestä, koska niveliä syntyi kaikkiin kasveihin lähes yhtä paljon käsittelystä riippumatta. Syysvadelmalla uusien nivelien määrä väheni viiden viikon ajan käsittelyn jälkeen, mutta kokeen lopussa nivelien lukumäärässä ei ollut eroa käsittelyiden välillä (Palonen ja Mouhu 2006). Viiniköynnöksellä (*Vitis vinifera* L.) ProCa on vähentänyt nivelvälien pituutta, mutta ei ole vaikuttanut nivelien lukumäärään (Lo Giudice ym. 2003). ProCa hajoaa kasveissa muutamassa viikossa, eikä sen vaikutus ole näin ollen kovin pitkä (Evans ym. 1999). Nivelvälit lyhenivät ohimenevästi molemmilla lajikkeilla kolmen viikon ajan ProCa-käsittelyn jälkeen. Tämän jälkeen käsittelyn vaikutus loppui. Tulameen-lajikkeella nivelvälit pidentyivät ProCa:n vaikutuksen loputtua 32–48 % kontrolliin verrattuna. Glen Ample -lajikkeella tällaista ilmiötä ei havaittu, koska sen pituuskasvu päättyi aikaisemmin. ProCa:n vaikutuksesta GA₂₀:tä kertyy kasviin runsaasti, ja se muuttuu aktiiviseen GA₁-muotoon ProCa:n hajottua (Evans ym. 1999). Näin kasvin käyttöön vapautuu kerralla runsaasti aktiivista GA₁:tä, joka luultavasti kiihdyttää kasvua. Syysvadelmalla nivelvälit ovat pidentyneet seitsemän viikon kuluttua ensimmäisestä ProCa-käsittelystä, mutta ero ei ollut tilastollisesti merkitsevä (Palonen ja Mouhu 2006). Runsas GA₁:n vapautuminen ProCa:n hajottua on lisännyt päärynän kasvua seuraavana vuotena käsittelystä (Elfving ym. 2002).

'Ariadne' -syysvadelmalla ProCa vähensi version paksuuskasvua (Palonen ja Mouhu 2006). Kokeessani ainoastaan Glen Ample -lajikkeella kaksinkertainen käsittely ProCa

200 ppm:llä vähensi tyven paksuutta. Kasvin kehitysvaiheella ProCa-käsittelyn aikaan on luultavasti vaikutusta ProCa:n toimintaan kasvilla. ProCa ei vähentänyt Tulameen-lajikkeen kasvua yhtä paljon kuin Glen Ample -lajikkeen. Tämä on voinut johtua Tulameen-lajikkeen erilaisesta kehitysvaiheesta käsittelyaikaan. Palosen ja Mouhun (2006) tutkimuksessa ei tutkittu käsittelyajankohdan vaikutusta kasvuun.

Voimakkaammat ProCa-käsittelyliuoksen pitoisuudet vähensivät pituuskasvua eniten. Lo Giudice ym. (2003) ovat kokeessaan havainneet, että viiniköynnöksen version pituus väheni lineaarisesti ProCa-konsentraation kasvaessa. Vadelmalajikkeet reagoivat selvästi eri tavoin ProCa-käsittelyyn, mutta vaikutus ei välttämättä johdu pelkästään lajikkeesta vaan myös kasvin kehitysvaiheesta käsittelyajankohtana. 'Glen Ample' lähti kasvuun hitaammin kesäkuussa, joten sen käsittely voitiin tehdä vasta viikko 'Tulameenin' käsittelyn jälkeen. Lisäksi Glen Ample -lajikkeen taimet olivat 8 cm lyhyempiä kuin Tulameen-lajikkeen taimet käsittelyvaiheessa. Glen Ample -lajikkeen kasvu oli muutenkin hitaampaa, ja se lopetti kasvun myös aiemmin kuin 'Tulameen', joka ehti kiihdyttää kasvua ProCa:n hajottua loppukesällä. Glen Ample -lajikkeella tällaista ilmiötä ei tapahtunut. Käsittelyajankohta vaikutti olevan otollinen Glen Ample -lajikkeen kannalta, ja avoimeksi kysymykseksi jää, mikä olisi ollut sopiva käsittelyajankohta Tulameen-lajikkeelle, jotta pääversot olisivat jääneet lyhyemmiksi.

Lajikkeiden välisiä eroja ProCa:n vaikutuksessa on havaittu myös päärynällä (Smit ym. 2005). Toisaalta myös käsittelyajankohdan ja seuraavien viikkojen lämpötilalla on merkitystä ProCa:n hajoamiseen ja sitä kautta aineen vaikutusaikaan. Yhdysvaltalaisessa tutkimuksessa ProCa:n vaikutuksen on osoitettu säilyvän seuraavaan kevääseen, kun omenapuita on käsitelty sadonkorjuun jälkeen (Greene 2005). Glen Ample -lajikkeen käsittelyn aikaan (28.6.) lämpötila oli 4–6 astetta alhaisempi kuin Tulameen-lajikkeen käsittelyaikaan (21.6.). Näin pienen lämpötilaeron merkitys ProCa:n vaikutukseen on luultavasti kuitenkin hyvin vähäistä.

6.2 Hiilihydraattipitoisuudet

ProCa-käsittelyiden vaikutus versojen ja silmujen liukoisten hiilihydraattien määrään oli vähäinen. Sakkarosipitoisuudet kohosivat versoissa 25 % ja silmuissa 28 % ProCa 200 + 200 -käsittelyssä, mutta erot eivät olleet tilastollisesti merkitseviä. Kohonneet sakkarosipitoisuudet lisäsivät liukoisten hiilihydraattien kokonaispitoisuutta. Versojen tärkkelyspitoisuus nousi 16 % ProCa 100 -käsittelyllä ja silmujen 45 % ProCa 200 -käsittelyllä kontrolliin verrattuna. Versoissa myös muut käsittelyt nostivat hiukan (6–10 %) tärkkelyspitoisuutta, mutta erot eivät olleet tilastollisesti merkitseviä.

Silmujen sakkarosin osuus suhteessa glukoosiin ja fruktoosiin kohosi myös käsittelyn vaikutuksesta, mikä voisi vaikuttaa edullisesti kylmänkestävyyteen. Aiemmissa tutkimuksissa, joissa on tutkittu sokerien vaikutusta kylmänkestävyyteen, juuri tällä hiilihydraattisuhteella on ollut merkitystä (Palonen 1999). Tärkkelys on kasveissa hiilihydraattien varastomuoto, joka muutetaan talven aikana sokereiksi (Crandall ym. 1974). Siten kohonnut tärkkelyspitoisuus voi myös osaltaan parantaa talvehtimistä. Korkea tärkkelyspitoisuus parantaa kasvin sadontuottokykyä.

Omenalla tärkkelyksen määrä nousi versoissa 43 % ProCa-käsittelyn (250 ppm) vaikutuksesta, mutta muiden liukoisten hiilihydraattien määrään käsittely ei vaikuttanut (Guak ym. 2001). Tässä kokeessa saatiin siis samansuuntaisia tuloksia kuin Guak ym. (2001) ovat havainneet omenalla. Mansikalla tehdyissä tutkimuksissa ProCa ei vaikuttanut eri kasvinosien hiilihydraattipitoisuuksiin (Mouhu ym. 2006). Mansikasta suurin osa on yksivuotisia lehtiä ja rönsyjä, joten sen kasvutapa on erilainen kuin vadelman tai omenan. Tämä luultavasti osaltaan selittää erilaisia tuloksia.

Tuloksissa esiintyvää runsasta hajontaa selittää osaltaan pieni otoskoko ($n = 5$). Eri kasviyksilöiden välisistä eroista johtuvaa vaihtelua ei pystytty sulkemaan näin pienellä kerrannemäärällä pois. Saadut tulokset kuitenkin tukevat tutkimushypoteesia. Voimakkaammat käsittelykonsentraatiot ja käsittelykertojen määrän lisääminen lisäsivät silmujen ja versojen hiilihydraattipitoisuutta. Ainoastaan silmujen tärkkelyspitoisuuteen kaksinkertaisilla käsittelyillä ei ollut vaikutusta.

6.3 Kukinta ja vegetatiivinen kasvu hyödössä

ProCa ei vaikuttanut Tulameen-lajikkeen puhjenneiden silmujen osuuteen tai satoa tuottavien silmujen lukumäärään. Glen Ample -lajikkeella käsittely vähensi satoa tuottavien silmujen määrää ja osuutta. Tämä johtui siitä, että Glen Ample -lajikkeella nivelien kokonaismäärä jäi kahteen kertaan käsitellyillä kasveilla alhaisemmaksi kesän kasvatuksessa. Hyödössä sato-silmujen määrä kuitenkin väheni entisestään. Molemmilla lajikkeilla silmut puhkesivat kahdessa aallossa. Ensin puhkesi noin 20–30 % silmuista version yläosissa ja viiveen jälkeen loput. Paksujen versojen ja versojen alaosien silmut vaativat pidemmän vilutusjakson kuin ohuet ja versojen kärjissä olevat (Måge 1975). Kukinta ja silmujen puhkeaminen alkaa version kärjestä (Carew ym. 2000a). Lajikkeiden vilutusvaatimus luultavasti täyttyi tässä kokeessa, vaikka molemmat lajikkeet vaativat korkean vilutustason (White 1999). Tulameen-lajikkeen vilutusvaatimus on 800 tuntia Koesterin ja Prittsin (2003) mukaan ja Glen Ample -lajikkeen vilutusvaatimus on suurempi (White 1999). Glen Ample -lajikkeen tarkkaa vilutusvaatimusta ei ole mainittu kirjallisuudessa. Kokeessani molemmat lajikkeet saivat 1704 vilutustuntia. Myös muut tekijät voivat vaikuttaa Glen Ample -lajikkeella silmujen huonoon puhkeamiseen. Oliveiran ym. (2002) havaintojen mukaan tällä lajikkeella esiintyy silmuja, joiden puhkeamiseen vilutus ei vaikuta. Williams (1960) päätteli Malling Promise -lajikkeella vähäisen silmujen puhkeamisen olevan ympäristötekijöistä riippumatonta.

ProCa:n vaikutus kukkasilmujen kehitykseen on monisäikeinen ja riippuu siitä, miten gibberelliini vaikuttaa kukintainduktioon kasvilajilla. Pitkänpäivän kasveilla (esim. *Arabidopsis* L.), joilla GA-synteesi on estetty mutaation avulla, kukinta viivästyy ja kukan rakenteet kehittyvät epänormaalisti verrattuna normaaliin kasviin (Fleet ja Sun 2005). Omenalla Macoun-lajikkeella elokuussa annettu ProCa-käsittely lisäsi kukkien määrää ensimmäisen vuoden versoissa 20–35 %, mutta toisiin lajikkeisiin, 'Delicious' ja 'Fuji', käsittelyllä ei ollut vaikutusta (Owens ja Stower 1999). Samassa tutkimuksessa ennen elokuuta annettu ProCa-käsittely ei lisännyt omenalla kukkien lukumäärää, vaan pikemminkin aikainen käsittely kesäkuun alussa vähensi niitä. Hedelmien lukumäärään omenalla ProCa-käsittelyllä ei ole ollut vaikutusta.

Myöskään päärynällä tehdyissä kokeissa ProCa:lla ei ollut vaikutusta hedelmien määrään (Sugar ym. 2004) tai satoon (Southwick ym. 2004). Toisaalta Rosemarie ja Forella -päärynälajikkeilla ProCa-käsittely lisäsi hedelmien määrää (Smit ym. 2005).

Luultavasti vadelmalla käsittelyajankohta vaikuttaa kukkasilmujen muodostumiseen, koska se vaikuttaa GA₁:n vapautumisajankohtaan. Aktiivisen gibberelliinin määrän on osoitettu nousevan vadelmalla kukintainduktion aikana (Vasilakakis ym. 1979). ProCa:n vaikutus on myös lajikkeesta riippuvainen. Tämä johtunee lajikkeiden erilaisesta kehitysrytmistä. Todennäköisesti ProCa:n vaikutus riippuu kasvin kehitysvaiheesta käsittelyajankohtana. Molemmilla lajikkeilla kukinta tapahtui kahdessa aallossa, samoin kuin silmujen puhkeaminen. Tietyt gibberelliinit (GA₃ ja GA₇) ulkoisesti annettuna häiritsevät kukka-aiheiden muodostumista monilla hedelmäpuilla (Hoad 1984). GA₃ on harvinaisempi gibberelliinin muoto korkeimmissa kasveissa. Sen rakenne eroaa GA₁:stä yhdellä kaksoissidoksella, ja se pystyy toimimaan GA₁:n tavoin useimmilla kasveilla (Taiz ja Zaiger 2002). Glen Ample -lajikkeella oli havaittavissa kahdesti käsitellyillä kasveilla vähemmän kukkia kuin kontrollikasveilla 40–60 päivän kuluttua hyödon alusta. Ero kuitenkin tasoittui hyödon loppuun mennessä, eikä satopotentialissa ollut eroja käsittelyiden välillä. Luultavasti juuri näissä kasveissa GA₁ on vapautunut kukka-aiheiden muodostumisen aikaan elo-syyskuun vaihteessa ja viivästyttänyt kukka-aiheiden muodostumista. Päärynällä ProCa-käsittelyn vaikutus on jatkunut seuraavaan vuoteen vähentämällä kukintaa, minkä on epäilty johtuvan vapautuneesta GA₁:stä kukka-aiheiden muodostuessa (Sugar ym. 2004). Aiemmat tutkimukset osoittavat, että GA₃ häiritsee vadelman kukka-aiheiden muodostumista (Måge 1976).

Toisin kuin tutkimushypoteeseissa oletettiin, kukkien kokonaismäärässä ja satopotentialissa ei ollut eroa käsittelyiden välillä kummallakaan lajikkeella. Tässä työssä satopotentialin ajateltiin nousevan, jos hiilihydraattipitoisuudet nousevat käsittelyn seurauksena. Hiilihydraattipitoisuuden nousu olisi vähentänyt kylmävarastoinnin aiheuttamaa satopotentialin menetystä. Toisaalta ProCa olisi voinut vaikuttaa suoraan kukintainduktioon kuten Owens ja Stowerin (1999) kokeissa omenalla.

Hankaversojen määrässä ja pituudessa ei ollut suuria eroja käsittelyiden välillä Tulameen-lajikkeella, sen sijaan 'Glen Ample' reagoi käsittelyihin herkemmin. Glen Ample -lajikkeeseen kasvoi kaksinkertaisten käsittelyiden seurauksena 32–27 % vähemmän hankaversoja, mutta ne olivat vastaavasti 29–43 % pitempiä. Hankaversojen kokonaiskuivapainoon käsittelyillä ei ollut vaikutusta. ProCa-käsittelyihin kasveihin kasvoi enemmän kukkia hankaversoihin kuin käsittelemättömiin, eli kasvi pystyi kompensoimaan menetettyjä hankaversoja kasvattamalla enemmän kukkia olemassa oleviin hankaversoihin. Hankaversojen määrään luultavasti vaikutti runsas aktiivisen GA₁:n määrä kesällä, kun silmut erilaistuivat. Mansikalla ProCa:n on todettu vaikuttavan versojen ja juurien suhteeseen lisäämällä juuren kuivapainoa ja vähentämällä verson kuivapainoa (Reekie ym. 2005).

Kun tutkitaan biologista ilmiötä, tarvitaan runsaasti toistoja. Tässä tutkimuksessa kerranteiden määrä oli vähäinen. Tutkimuksen perusteella ilmiöön sisältyy paljon satunnaisvaihtelua, joka aiheuttaa epävarmuutta tulosten tulkintaan. Tämän seikan poistamiseksi toistoja olisi tehtävä useampia. Toisaalta tilastollisena menetelmänä käytettiin Dunnetin testiä, joka on tarkempi pienten otoskeskiarvojen eroavuuksien tulkintaan virheen silti kasvamatta. Yleisesti käytetty Tukeyn testi vertaa eroavaisuuksia kaikkien ryhmien välillä, ja näin ollen erojen täytyy olla suurempia, jotta ne olisivat tilastollisesti merkitseviä.

6.4 Yhteenveto ja johtopäätökset

Tässä tutkimuksessa selvitettiin ProCa:n vaikutusta vadelman vegetatiiviseen kasvuun ja satopotentiaaliin. ProCa lyhensi pääverson pituutta lyhentämällä nivelvälejä. Sen vaikutus silmujen ja versojen hiilihydraattimääriin oli vähäinen, vaikka sakkaroosi- ja tärkkelyspitoisuudet kohosivat jonkin verran käsittelyn vaikutuksesta. Satopotentiaaliin ProCa:lla ei ollut vaikutusta.

ProCa vaikuttaisi tulosten perusteella olevan lupaava kasvunsääde kesävadelmalle. Sen vaikutus vegetatiiviseen kasvuun oli hyvä, mutta sadontuottoon sillä ei ollut vaikutusta. ProCa:n käytössä ongelmalliseksi tulee ruiskutusajankohta, koska kukkasilmujen kehitys näyttäisi häiriintyvän helposti, mikäli käsittely suoritetaan loppukesällä.

Ilmastotekijöiden ja käsittelyajankohdan vaikutusta kasvuun ja kukintaan on vielä tutkittava tarkemmin.

Käytännön viljelyssä 35 % (28 cm) lyhyempi pääverso voisi vähentää talvivaurioita avomaanviljelyssä, kun lumipeitteen suojaan jäisi enemmän satosilmuja. Talvivaurioiden vähentyminen saattaisi olla sen vaivan ja työn arvoinen, mitä ProCa-käsittelyt viljelijälle maksaisivat. Verson lyhentymisen voi myös parantaa vadelman kasvatusmahdollisuuksia kasvihuoneessa, koska tukeminen ja sadon kerääminen helpottuisi satoverson yläosista.

Tutkimuksen perusteella ProCa lisää vadelman versojen ja silmujen hiilihydraattipitoisuuksia, kuten tutkimushypoteeseissa oletettiin. Yhtenä tutkimuksen lähtöoletuksista oli, että lisääntyneet hiilihydraattipitoisuudet olisivat vähentäneet kylmävarastoinnin aiheuttamaa satopotentialin menetystä. Tulokset eivät kuitenkaan tue tätä väitettä.

7 KIITOKSET

Tämän pro gradu -työn tekemisessä monet ihmiset ovat olleet apunani. Kaunis kiitos heille kaikille. Erityisesti haluan kiittää tutkimusteknikko Matti Salovaaraa kenttäkokeen käytännön järjestelyistä ja tutkimusteknikko Aira Vainiolaa neuvoista ja avusta hiilihydraattianalyysien tekemisessä. Kiitokset tutkija, maat. ja metsät. maisteri, Marja Rantaselle avusta ja ajankäytöstä tutkimuksen kaikissa vaiheissa. Lopuksi haluan kiittää työni ohjaajaa yliopistonlehtori, dosentti, Pauliina Palosta, joka jaksoi paneutua tutkimusprosessin ohjaamiseen kriittisesti ja pitkäjänteisesti.

8 KIRJALLISUUS

- Black, B. L. 2004. Prohexadione-calcium decreases fall runners and advances branch crowns of 'Chandlers' strawberry in a cold-climate annual production system. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 129:479-485.
- Braun J.W. & Garth, J.K.L. 1984. Growth and fruiting of 'Heritage' primocane fruiting red raspberry in response to daminozide and ethephon. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 109:207-209.
- Braun, J.W. & Garth, J.K.L. 1986. Growth and fruiting of 'Heritage' primocane fruiting red raspberry in response to paclobutrazol. *HortScience* 21:437-439.
- Brown, R., Kawaide, H., Yang, Y.-Y., Rademacher, W. & Kamiya, Y. 1997. Daminozide and prohexadione have similar modes of action as inhibitors of the late stages of gibberellin metabolism. *Physiologia Plantarum* 101:309-313.
- Burley, J.W.A. 1961. Carbohydrate translocation in raspberry & soybean. *Plant physiology* 36: 820-824.
- Carew, J.G., Gillespie, T., White, J., Wainwright, H., Brennan, R., & Battey, N.H. 2000a. The control of the annual growth cycle in raspberry. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology* 75:495-503.
- Carew, J.G., Gillespie, T., White, J., Wainwright, H., Brennan, R. & Battey, N. H. 2000b. Techniques for manipulation of the annual growth cycle in raspberry. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology* 75:504-509.
- Crandall, P.C., Allmendinger, D.F., Chamberlain, J.D. & Biderbost, K.A. 1974. Influence of cane number and diameter, irrigation, and carbohydrate reserves on the fruit number of red raspberries. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 99:524-526.
- Crandall, P.C. & Chamberlain, J.D. 1972. Effects of water stress, cane size, and growth regulators on floral primordia development in red raspberries. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 97:418-419.
- Elfving, D.C., Sugar, D. & Faubion, D. 2002. Pear tree shoot growth patterns in relation to chemical control of vegetative growth with Prohexadione-Calcium (Apogee®). *Acta Horticulturae* 596:711-716.
- Evans, J.R., Evans, R.R., Regusci, C.L. & Rademacher, W. 1999. Mode of action, metabolism, and uptake of BAS 125W, prohexadione-calcium. *HortScience* 34:1200-1201.
- Fleet, C.M. & Sun, T. 2005. A DELLAcate balance: the role of gibberellin in plant morphogenesis. *Current Opinion in Plant Biology* 8:77-85.
- Goulart, B. 1989. Growth and flowering of greenhousegrown red raspberry treated with plant growth regulators. *HortScience* 24:296-298.
- Greene, D.W. 1999. Tree growth management and fruit quality of apple trees treated with prohexadione-calcium (BAS 125). *HortScience* 34:1209-1212.
- Greene, D.W. 2005. Carryover effects of Prohexadione-calcium on apples. *HortScience* 40:1340-1342.

- Griggs, D., Hedden, P., Temple-Smith, K. & Rademacher W. 1991. Inhibition of gibberellin 2 β -hydroxylases by acylcyclohexanedione derivatives. *Phytochemistry* 30:2513-2517.
- Grossmann, K., König-Kranz, S. & Kwiatkowski, J. 1994. Phytohormonal changes in intact shoots of wheat and oilseed rape treated with the acylcyclohexanedione growth retardant prohexadione calcium. *Physiologia Plantarum* 90:139-143.
- Guak, S., Neilsen, D. & Looney, N. E. 2001. Growth, allocation of N and carbohydrates, and stomal conductance of greenhouse grown apple treated with prohexadione-Ca and gibberellins. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology*. 76:746-752.
- Hoad, G.V. 1984. Hormonal regulation of fruit-bud formation in fruit trees. *Acta Horticulturae* 149:13-23.
- Kempler, C. 2004. 'Out-of-season' greenhouse production of raspberry and strawberry. *Acta Horticulturae* 633:459-465.
- Kempler, C., Harding, B. & Ehret, D. 2002. Out-of-season raspberry production in British Columbia, Canada. *Acta Horticulturae* 585:629-631.
- Koester, K. & Pritts, M. 2003. Greenhouse Raspberry Production Guide. For winter or year-round production. Department of Horticulture, Publication 23. Saatavissa Internetistä <http://www.fruit.cornell.edu/Berries/ghrasp.html>. viitattu 8.2.2006.
- Lo Giudice, D., Wolf, T.K. & Marini, R.P. 2003. Vegative response of *Vitis vinifera* to prohexadione-calcium. *HortScience* 38:1435-1438.
- Medjdoub, R., Val, J. & Blanco A. 2005. Inhibition of vegetative growth in red apple cultivars using prohexadione-calcium. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology* 80:263-271.
- Moore, J. N. & Caldwell, J. D. 1985. *Rubus*. Teoksessa: Halevy, A. H. (toim.). *CRC Handbook of Flowering Vol IV*. Boca Raton, CRC press. s. 226-238.
- Mouhu, K., Koivu, I., Junttila, O. & Hytönen, T. 2006. Proheksadioni-kalsium lisää mansikan satopotentialia avomaalla. Maataloustieteenpäivät 2006, posterit. Saatavissa Internetistä <http://www.smts.fi/posterit2006.htm>. viitattu 16.2.2006.
- Måge, F. 1975. Dormancy in buds of red raspberry. *Meldinger fra Norges Landbrukshøgskole*. 54:1-24.
- Måge, F. 1976. Dormancy, winter injury and development in raspberry buds with gibberellic acid. *Meldinger fra Norges Landbrukshøgskole*. 55:1-16.
- Oliveira, P.B., Lopes-da-Fonseca, L. & Monteiro, A.A. 2002. Combining different growing techniques for all year round red raspberry production in Portugal. *Acta Horticulturae* 585:545-553.
- Owens, C.L. & Stover, E. 1999. Vegative growth and flowering of young apple trees in response to prohexadione-calcium. *HortScience* 34:1194-1196.
- Palonen, P. 1999. Relationship of seasonal changes in carbohydrates and cold hardiness in canes and buds of three red raspberry cultivars. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 124:507-513.

- Palonen, P. & Lindén, L. 1999. Dormancy, cold hardiness, dehardening, and rehardening in selected red raspberry cultivars. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 124: 341-346.
- Palonen, P. & Mouhu, K. 2006. Prohexadione-calcium treatments reduce vegetative growth of primocane fruiting raspberry 'Ariadne'. *Painossa, ilmestyy julkaisussa Acta Horticulturae*.
- Paroussi, G., Voyiatzis, D.G., Paroussis, E. & Drogoudi, P.D. 2002. Growth, flowering and yield responses to GA₃ of strawberry grown under different environmental conditions. *Scientia Horticulturae* 96:103-113.
- Pitsioudis, A., Latet, G. & Meester, P. 2002. Out of season production of raspberries. *Acta Horticulturae* 585:555-560.
- Puutarhayritysrekisteri 2005. Maa- ja metsätalousministeriön tietopalvelukeskus. Helsinki 2006. 117 s.
- Rademacher, W. 2000. Growth retardants: effects on gibberellin biosynthesis and other metabolic pathways. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* 51: 501-531.
- Reekie, J.Y., Hicklenton, P.R. & Struik, P.C. 2005. Prohexadione-calcium modifies growth and increases photosynthesis in strawberry nursery plants. *Canadian Journal of Plant Science*. 85: 671-677.
- Ruottinen, M. 2003. Mansikan ja vadelman viljely kasvihuoneessa. Kirjallisuuden ja tiedonantojen pohjalta. Marjaosaamiskeskus 2003. 192 s. Saatavissa Internetistä <http://www.berryknow-howcentre.fi/default.asp?toc=27> viitattu 22.3.2006.
- Smit, M., Meintjes, J.J., Jacobs, G., Stassen, P.J.C. & Theoron, K.I. 2005. Shoot growth control of pear trees (*Pyrus communis* L.) with prohexadione-calcium. *Scientia Horticulturae* 106:515-529.
- Southwick, S.M., Ingels, C., Hansen, R. & Glozer, K. 2004. The effects of Apogee® on shoot growth, secondary flowering, fire blight, fruit quality and return bloom in 'Barlett' pear growing in California. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology* 79:308-389.
- Sugar, D., Elfving, D.C. & Mielke, E.A. 2004. Effects of Prohexadione-Calcium on pear fruit size and return bloom in pear. *HortScience* 39:1305-1308.
- Taiz, L. & Zaiger, E. 2002. *Plant Physiology*. 3. painos. Sunderland, Sinauer Associates, Inc. 690 s.
- Ulkomaankauppatilasto 2004. Saatavissa Internetistä <https://ePortti.Tietopalvelut.com> viitattu 7.9.2005.
- Vasilakakis, M.D., McCown, B.H. & Dana, M.N. 1979. Hormonal changes associated with growth and development of red raspberries. *Physiologia Plantarum* 45:17-22.
- Vasilakakis, M.D., Struckmeyer, B.E. & Dana, M.N. 1979. Temperature and development of red raspberry flower buds. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 104:61-62.
- White, J.M. 1999. Factors influencing the control of dormancy and bud break in raspberry (*Rubus idaeus* L.). Ph.D. thesis. University of Essex, Englanti. 172 s.

- Whitney, G.G. 1982. The productivity and carbohydrate economy of the developning stand of *Rubus idaeus*. Canadian Journal of Botany 60:2697-2703.
- Williams, I.H. 1959a. Effects of environment on *Rubus idaeus* L. III Growth and dormancy of young shoots. The Journal of Horticultural Science 34:210-218.
- Williams, I.H. 1959b. Effects of environment on *Rubus idaeus* L. IV flower initiation and development of the inflorescence. The Journal of Horticultural Science 34:219-228.